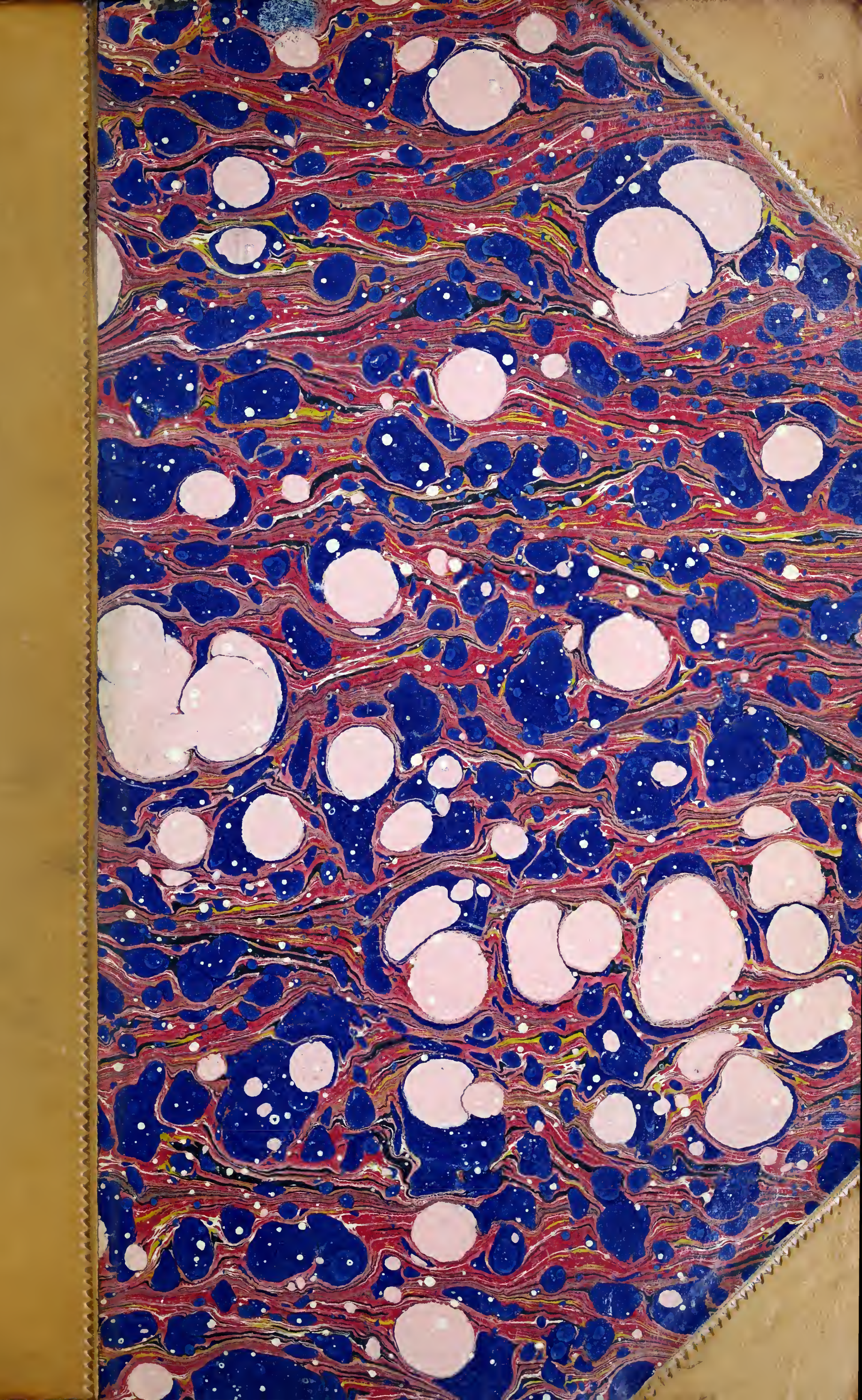


VERGLEICHENDE PHYSIOLOGIE

DES

KEIMUNGSPROCESSES

DER

SAMEN

VON

DR. W. DETMER,
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT JENA.



JENA,
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
VORMALS FRIEDR. MAUKE.
1880.

Vorwort.

Während der letzten Jahre habe ich mich unter anderem mit eingehenderen physiologischen Untersuchungen über den Keimungsprocess der Samen beschäftigt. Die unmittelbaren Beobachtungsresultate dieser Arbeiten, vor allen Dingen aber gewisse allgemeine Gesichtspunkte, welche sich mir bei dem genaueren Studium des Keimungsprocesses allmählich eröffneten, haben zur Entstehung des vorliegenden Buches Veranlassung gegeben.

Im Mittelpunkte meiner gesammten Darstellungen steht eine Hypothese, die ich als Dissociationshypothese bezeichnen will, und nach welcher das innerste Wesen der Lebenserscheinungen auf eine unter allen Umständen zur Geltung kommende Zersetzung gewisser Elemente des lebensthätigen Protoplasma (der Lebenseinheiten desselben) zurückgeführt werden muss. Ich will hier nicht specieller auf meine Vorstellungen über die Dissociation der Lebenseinheiten und die damit verwandten Anschauungen anderer Physiologen eingehen, aber ich kann nicht umhin, bereits an dieser Stelle zu betonen, dass die Dissociationshypothese meiner festen Ueberzeugung nach dazu berufen ist, eine ähnlich bedeutungsvolle Rolle wie die Undulations- und Selectionshypothese in der Wissenschaft zu spielen.

Wenn es einerseits mein Bestreben gewesen ist, stets mit Nachdruck auf die für die Beurtheilung der Vorgänge bei der Keimung der Samen wichtigen einheitlichen Gesichtspunkte hinzuweisen, so erschien es andererseits für meine vergleichenden Darstellungen nicht minder bedeutungsvoll, die Verschiedenartigkeiten, welche in Folge der specifischen Eigenthümlichkeiten der einzelnen Samenspecies bei der Keimung derselben zu Tage treten, niemals aus dem Auge zu verlieren. So z. B. zeigen die Resultate der Untersuchungen von de Saussure, Sachs und A. Mayer sowie diejenigen meiner Beobachtungen, dass durchgreifende Unterschiede zwischen den Processen bei der Kei-

mung amylumreicher Samen einerseits und ölreicher Samen andererseits bestehen. Man bedenke nur, dass die Athmungsprocesse bei der Keimung stärkereicher und fettreicher Samen, worauf bereits A. Mayer bei Gelegenheit seiner Betrachtungen über die unvollständige und vollkommene Oxydation organischer Pflanzenstoffe ein sehr grosses Gewicht legte, einen wesentlich verschiedenartigen Charakter tragen, und man wird sofort einsehen, dass es unerlässlich ist, die thatsächlich vorhandenen Differenzen im Verhalten der einzelnen Samenspecies nicht zu verwischen.

Das eingehende Studium des Keimungsprocesses der Samen beansprucht nicht allein an sich ein hohes wissenschaftliches sowie praktisches Interesse, sondern es werden dem Physiologen durch dasselbe überdies mannigfache Gesichtspunkte zur Beurtheilung der verschiedenartigsten Phänomene des Pflanzenlebens überhaupt eröffnet. Ich habe es deshalb auch nicht versäumt, bei geeigneter Gelegenheit auf die Beziehungen zwischen den die Evolution des Embryo bedingenden physiologischen Vorgängen und anderweitigen Processen im vegetabilischen Organismus hinzuweisen, obgleich ich mich dabei selbstverständlich nur auf Andeutungen beschränken durfte.

Während ich mich ebenso bemühte, alle diejenigen Verhältnisse, welche nicht im unmittelbarsten Zusammenhange mit den in diesem Buche specieller zu beleuchtenden Fragen stehen, sondern dem Gebiete der allgemeinen Pflanzenphysiologie angehören, nur in soweit zu berühren, als dies absolut nothwendig erschien, habe ich die Probleme der Physiologie des Keimungsprocesses der Samen eingehend zu behandeln versucht und die sehr ausgedehnte Literatur über den Keimungsprocess dabei möglichst vollständig berücksichtigt.

Ich hoffe, dass meine Schrift demjenigen einigen Nutzen gewähren wird, der sich mit Rücksicht auf rein wissenschaftliche Fragen oder im Interesse der Praxis mit dem Studium des Keimungsprocesses beschäftigt.

Jena, am 19. April 1880.

Der Verfasser.

Inhaltsübersicht.

Seite

Vierter Hauptabschnitt.
Die Athmung der Keimpflanzen.

Fünfter Hauptabschnitt.
Das Verhalten stickstofffreier Verbindungen bei der Keimung.

Sechster Hauptabschnitt.
Die Translocation plastischer Stoffe in der Keimpflanze.

Siebenter Hauptabschnitt.
Der Einfluss verschiedener Temperaturen auf die Samen und Keimpflanzen.

Achter Hauptabschnitt.

Der Einfluss des Lichts und der Dunkelheit auf die Keimpflanzen.

Neunter Hauptabschnitt.

Die Biologie der Keimpflanzen.

Einleitung.

Die Evolution des Embryo der Samen ist als ein **Wachsthumsprocess** aufzufassen. Das Zustandekommen eines jeden Wachsthumsvorganges ist an bestimmte äussere Bedingungen gebunden, und vor allen Dingen ist in dieser Hinsicht zu erwähnen, dass das Wachsthum nur unter dem Einflusse bestimmter Temperaturen sowie bei Gegenwart hinreichender Feuchtigkeits- und Sauerstoffmengen zur Geltung kommen kann[1]).

Die Ausbildung der Glieder solcher Pflanzen, welche das Keimungsstadium bereits hinter sich haben, erfolgt auf Kosten plastischer Stoffe, die in den Organismen selbst erzeugt oder denselben von aussen zugeführt worden sind[2]). Ebenso ist die erste Entwickelung des Embryo der Samen an die Gegenwart organischer, für die Zwecke des Wachsthums verwerthbarer Verbindungen gebunden, und zwar sind dieselben dem jungen Keim in Gestalt von **Reservestoffen** von der Mutterpflanze mitgegeben. In dem Masse als die Evolution des Embryo fortschreitet, verschwindet das plastische Material aus den Reservestoffbehältern, um für die Neubildung und das Wachsthum von Zellen Verwendung zu finden.

Die vorstehenden Bemerkungen lassen keinen Zweifel darüber bestehen, dass der Physiologie des Keimungsprocesses nicht nur die Aufgabe zufällt, die mit der Entwickelung des Embryo zur Geltung kommenden Wachsthumsvorgänge an sich zu beleuchten, sondern dass auch durch die Betrachtung der Abhängigkeit des Wachsthumsprocesses der Keimtheile von äusseren Factoren die Aufgabe der Keimungsphysiologie keineswegs erschöpft wird. Vielmehr besitzen überdies zumal die Fragen nach dem Verhalten der Reservestoffe der Samen eine ganz hervorragende Bedeutung, und es

1) Ich sehe hier von den wenigen Pflanzen ab, welche nachgewiesenermassen bei Abschluss des freien Sauerstoffs wachsen können.

2) Das Letztere gilt für epiphytisch oder parasitisch lebende Gewächse.

muss namentlich untersucht werden, welchen Veränderungen dieselben bei der Keimung anheimfallen, und auf welche Weise ihre Translocation in den Keimpflanzen erfolgt.

Die Wassermengen, welche die lufttrockenen Samen enthalten, genügen bei weitem nicht, um die Zellen des Embryo zum Wachsthum anzuregen. Sollen die Samen keimen, so muss denselben vielmehr zunächst tropfbar-flüssiges Wasser zugeführt werden. Ist dies der Fall, und dringen die Wassermoleküle in das Gewebe der Samen ein, so beginnt der Keimungsprocess. Die Samen nehmen allmählich erhebliche Wassermengen von aussen auf, die vorhandenen Reservestoffe erfahren in Folge dessen alsbald wesentliche Veränderungen, und nach mehr oder minder langer Zeit beginnt das Wachsthum der Zellen des Embryo.

Erfolgt die Ausbildung der Keimpflanzen im Finstern, so sind dieselben selbstverständlich ausschliesslich auf die im Endosperm, im Perisperm oder im Embryo selbst vorhandenen Reservestoffe angewiesen, und der Keimungsprocess erreicht sein Ende, wenn das plastische Material mehr oder weniger vollständig aufgezehrt worden ist.

Ich habe Maisfrüchte, die in lufttrockenem Zustande einzeln etwa 0,3 Grm. wogen, 7—8 Wochen lang bei einer Temperatur von 15—20° C. im Dunkeln cultivirt [1]). Nach Verlauf dieser Zeit waren die Untersuchungsobjecte zu Grunde gegangen, während sie bereits einige Tage vor ihrem Tode ein durchaus krankhaftes Aussehen angenommen hatten. Nach Abschluss der Versuche zeigte sich, dass das Endosperm der Maisfrüchte fast völlig entleert war, und bei mikrochemischer Untersuchung liess sich die Abwesenheit von Proteinstoffen leicht constatiren, während allerdings noch geringe Amylumquantitäten vorhanden waren. Pfeffer [2]) hat Lupinenkeimlinge längere Zeit im Finstern cultivirt. In den Zellen der absterbenden Pflanzen liessen sich noch reichliche Asparaginmengen nachweisen.

Berücksichtigt man die Ergebnisse der angeführten Beobachtungen, und zieht man ferner in Erwägung, dass die Maisfrüchte relativ arm an Proteinstoffen, aber sehr reich an stickstofffreien Reservestoffen (Amylum, Fett) sind, während die Lupinensamen im Gegentheil neben sehr erheblichen Proteinstoffmengen nur geringe Quantitäten stickstofffreier Körper enthalten, so ergiebt sich,

1) Vgl. Detmer, Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. B. 2, Heft 4.

2) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschl. Botanik. B. 8, S. 558.

dass in den Zellen der im Finstern erwachsenen und schliesslich absterbenden Keimpflanzen zumal noch solche plastische Stoffe vorhanden sein können, die in den ruhenden Samen in besonders grossen Mengen angetroffen werden, oder die aus derartigen Verbindungen hervorgegangen sind.

Es hat niemals irgend welche Schwierigkeiten, den Zeitpunkt des Beginns der Keimung eines Samen festzustellen, denn der Keimungsprocess wird eingeleitet, wenn der Same, der sich in Contact mit Wasser befindet, dasselbe aufnimmt. Ebenso ist es sehr leicht den Zeitpunkt des Abschlusses der Keimung zu bestimmen, wenn sich die Keimpflanze im Finstern entwickelt hat. Das Ende der Keimung fällt in diesem Falle einfach mit dem Ende des Lebens der Keimpflanze zusammen. Wenn die Lebenseinheiten des Plasma in den Zellen der Keimlinge sämmtlich oder fast alle zersetzt sind und die Regeneration lebendiger Eiweissmoleküle nicht mehr in normaler Weise erfolgen kann[1]), so erlischt das Leben der jungen Pflanzen, und der Keimungsprocess hat sein Ende erreicht.

Wann ist aber, so müssen wir fragen, der Zeitpunkt des Endes der Keimung zu setzen, wenn die Entwickelung der jungen Pflanzen bei Lichtzutritt erfolgt?

Unter solchen Umständen sind die Organismen nicht allein auf das plastische Material in den Zellen der Reservestoffbehälter angewiesen, sondern in den ergrünenden Pflanzentheilen werden bei Gegenwart von Kohlensäure überdies in Folge des Assimilationsprocesses organische Substanzen producirt, die für die Zwecke des Wachsthums Verwendung finden können, und aus der Keimpflanze entwickelt sich ein Organismus, der sich selbstständig ernähren kann.

Vom physiologischen Standpunkte aus hat man die Keimung bei Lichtzutritt wohl dann als abgeschlossen betrachtet, wenn die Reservestoffe der Samen völlig aufgezehrt sind, und die Pflanzen also ausschliesslich auf die ihnen von aussen zugeführten Nahrungsmittel angewiesen sind. Aber wenn man derartige Gesichtspunkte festhält, so wird man in der That in manchen Fällen zu wunderlichen Anschauungen geführt.

Blociszewski[2]) hat in Anschluss an die bekannten Unter-

1) Ich werde mich im dritten Capitel des dritten Hauptabschnittes eingehend darüber aussprechen, was man unter Lebenseinheiten des Plasma und unter lebendigen Eiweissmolekülen zu verstehen hat.

2) Vgl. Blociszewski, Landwirthschl. Jahrbücher. B. 5, S. 145.

suchungen Van Tieghems[1]), auf welche wir im neunten Hauptabschnitte noch eingehender zurückkommen werden, Embryonen, die des Endosperms oder der Cotyledonen beraubt worden waren, in einem sehr sorgfältig vorbereiteten Boden cultivirt und ganz normal entwickelte Pflanzen erzogen. In diesem Falle müssen die in den Zellen der Embryonen vorhandenen Reservestoffe sehr bald nach Beginn der Untersuchungen aufgezehrt gewesen sein; sie würden sicher nicht hingereicht haben, um die Evolution der bereits im Samen angelegten Blattgebilde der Plumula herbeizuführen, und nach der oben geltend gemachten Auffassung des Keimungsprocesses würde die Keimung also bereits nach sehr kurzer Zeit ihr Ende erreicht haben.

Andererseits ist z. B. darauf hinzuweisen, dass eine zweijährige Eiche neben mehreren echten Laubblättern und einem verholzten Stamm noch unterirdische Cotyledonen besitzen kann, in denen sich nicht unerhebliche Reservestoffmengen vorfinden. Ein solcher Organismus kann doch schwerlich noch als ein derartiger aufgefasst werden, welcher sich im Keimungsstadium befindet. —

Geht man bei der Charakteristik der Keimpflanzen von morphologischen Gesichtspunkten aus, so liesse sich vielleicht sagen, dass eine Pflanze so lange als Keimpflanze aufgefasst werden müsse, als sie sich hinsichtlich der habituellen Eigenthümlichkeiten ihrem Organe nach wesentlich von dem entwickelten Organismus unterscheidet. Aber auch hier stösst man in vielen Fällen auf erhebliche Schwierigkeiten. Welche Unterschiede zwischen Keimpflanzen und entwickelten Pflanzen sind als wesentliche und welche als unwesentliche zu betrachten? Würden die entwickelten Exemplare der sonderbaren Welwitschia mirabilis mit ihrem nur wenig über die Erdoberfläche hervorragenden Stamm und den beiden Blättern von ungeheurer Grösse, welche als Cotyledonen aufzufassen sind, nach der zuletzt gegebenen Charakteristik nicht als Keimpflanzen gelten müssen[2])?

Ich glaube nach alledem betonen zu müssen, dass zwischen der bei Lichtzutritt erwachsenen Keimpflanze und dem entwickelten Organismus gar keine scharf zu bestimmenden Unterschiede existiren. Die Keimpflanze geht ganz allmählich in die entwickelte Pflanze über. Zunächst werden die Reservestoffe der Samen allein für die Zwecke des Wachsthums der Zellen in Anspruch genom-

1) Vgl. Van Tieghem, Annl. d. sc. nat. Botanique. Ser. 5, T. 17, p. 205.

2) Vgl. über die erwähnte, zu den Gnetaceen gehörende Pflanze Eichler, Flora 1863, S. 459.

men; später producirt die Pflanze unter dem Einflusse des Lichtes selbst organische Substanzen, und überdies verwerthet sie noch den vorhandenen Rest des plastischen Materials der Reservestoffbehälter [1]). Schliesslich, wenn die Reservestoffe völlig aufgezehrt sind, wachsen die Zellen lediglich auf Kosten solcher Verbindungen, welche der chlorophyllführende Organismus selbst aus anorganischen Stoffen erzeugt hat. Dabei ist zu bemerken, dass dies hier zuletzt erwähnte Entwickelungsstadium bald früher, bald später erreicht wird, und dass der Zeitpunkt des Beginns desselben im Allgemeinen in Beziehung zu der vorhandenen Reservestoffmenge steht, die dem Embryo von der Mutterpflanze als disponibles Capital mit auf den Weg gegeben worden. Die jungen Pflanzen von Brassica Napus oder Triticum vulgare werden das Stadium der ausschliesslich selbstständigen Ernährung z. B. viel früher erreichen als diejenigen von Cucurbita Pepo oder Pisum sativum, und wenn zwei Individuen derselben Pflanzenspecies gleichen äusseren Vegetationsbedingungen ausgesetzt sind, so wird diejenige Pflanze zuerst in das Stadium der ausschliesslich selbstständigen Ernährung übergehen, welcher die geringere Reservestoffmenge zur Disposition stand.

Wird eine grössere Samenanzahl den Keimungsbedingungen ausgesetzt, so zeigt sich häufig, dass einzelne Samenindividuen selbst dann, wenn die äusseren Verhältnisse, unter denen sie sich befinden, sehr günstige sind, nicht keimen. Diese Samenindividuen gehen schliesslich zu Grunde, und man sieht also, dass nicht alle Individuen einer Samenprobe keimfähig zu sein brauchen. Ich komme später auf die hier berührte Erscheinung eingehender zurück und möchte an dieser Stelle nur bemerken, dass die Ursache derselben zum Theil in den Keimungsbedingungen selbst, zum Theil in dem Zustande der Samen, d. h. in deren Reifegrad, Alter, Individualität etc. zu suchen ist. Die Keimfähigkeit der Samen drückt man am zweckmässigsten in Procenten der untersuchten Samenanzahl aus, und zwar ist zu bemerken, dass das gewonnene Resultat der Beobachtungen der Wahrheit um so näher kommen muss, je grösser die Anzahl der Samenindividuen ist, mit der man experimentirt.

---

1) Wenn die Keimpflanzen bereits selbst assimiliren, so besitzen die etwa noch vorhandenen Reservestoffe der Samen übrigens mehr oder weniger nur noch den Werth von Schutzmitteln für die jugendlichen Organismen.

Bei dem Studium der Keimfähigkeit der Samen fällt sofort auf, dass manche Samenindividuen absolut oder relativ schnell keimen, während die erste sichtbare Entwickelung des Embryo anderer lange Zeit auf sich warten lässt. Dies zeigt sich nicht nur, wenn man das Verhalten verschiedener Samenspecies unter einander vergleicht, sondern ebenso bei dem Studium des Verhaltens verschiedener Individuen derselben Samenspecies oder Samenvarietät. Die einzelnen Samenindividuen besitzen also eine verschiedene Keimungsenergie, und um hierfür einen bestimmten Ausdruck zu gewinnen, ermittelt man, wie viel Procente der benutzten Samenanzahl während der einzelnen Versuchsperioden, die man je nach Bedürfniss über Stunden oder Tage ausdehnen kann, gekeimt haben [1]). Die Keimungsenergie erweist sich einerseits abhängig von der Beschaffenheit der Samen selbst, andererseits aber auch von den äusseren Bedingungen, unter denen die Keimung erfolgt. So ist es ja z. B. allbekannt, dass ein Same bei niederer Temperatur nur langsam, bei höherer dagegen weit schneller keimt. Bei dem Studium der Keimungsenergie, und ebenso bei demjenigen der Keimfähigkeit, ist es oft erforderlich, die Keimungsbedingungen sehr lange Zeit hindurch auf die Samen einwirken zu lassen, denn der Embryo mancher Samen, z. B. derjenige der Coniferensamen, wird nur sehr langsam zur Entwickelung angeregt.

Von der Keimungsenergie der Samen zu unterscheiden ist nach meinem Dafürhalten die Evolutionsintensität der Keimpflanze. Diese letztere ist allerdings wie jene abhängig von der Beschaffenheit der Samen und des Embryo selbst, sowie von äusseren Umständen, aber diejenigen Momente, welche einen Einfluss auf die Keimungsenergie ausüben, sind durchaus nicht immer von Bedeutung für die Evolutionsintensität der Keimpflanze. Werden die Samen von Lupinus z. B. in Contact mit Wasser gebracht, so können manche Individuen derselben lange Zeit in der Flüssigkeit verharren, ohne zu quellen. Diese Erscheinung, die, wie im ersten Hauptabschnitte gezeigt werden soll, in inniger Beziehung zu der Natur der Pallisadenschicht der Testa der erwähnten Untersuchungsobjecte steht, ist selbstverständlich von der grössten Bedeutung für den Beginn der Keimung der Lupinensamen. Wenn aber die Keimung einmal eingeleitet ist, so verliert sie ihre Wichtigkeit, und es ist für die Evolutionsintensität der Keimpflanze in vielen Fällen von keinem

1) Die erste Entwickelung des Embryo, von der in diesem Zusammenhange nur die Rede sein kann, ist durch das Hervorbrechen der Keimwurzel charakterisirt.

Belang, ob die Keimungsenergie der Samen eine geringere oder grössere gewesen. Als Massstab zur Beurtheilung der Evolutionsintensität der Keimpflanze können im Allgemeinen schon die Dimensionsverhältnisse, welche die Keimtheile in bestimmter Zeit erreichen, gelten; genauere Anhaltspunkte werden aber durch die Bestimmung des Trockensubstanzgewichtes der Keimpflanzen — natürlich nach erfolgtem Abzug des Gewichts der Reservestoffbehälter (Endosperm, Perisperm oder Cotyledonen) — gewonnen.

Aus der Inhaltsübersicht des vorliegenden Buches geht hervor, dass ich die gesammten sich auf den Keimungsprocess der Samen beziehenden Verhältnisse in neun Hauptabschnitten behandeln werde. Ganz naturgemäss muss die Quellung der Samen zunächst unsere Aufmerksamkeit fesseln, denn ohne die Gegenwart hinreichender Feuchtigkeitsmengen können überhaupt gar keine Stoffwechsel- und Wachsthumsprocesse in den Pflanzenzellen zur Geltung kommen. Weiter wird es sich darum handeln, das Verhalten der Aschenbestandtheile bei der Keimung ins Auge zu fassen und zu zeigen, dass die in dem Endosperm, dem Perisperm oder den Cotyledonen aufgespeicherten Mineralstoffe ebenso wie gewisse organische Verbindungen als Reservestoffe für die Keimpflanze angesehen werden müssen. Im dritten, vierten und fünften Hauptabschnitt sollen die Stoffwechselprocesse bei der Keimung und alle Vorgänge, die in unmittelbarem Zusammenhange mit denselben stehen, eingehend beleuchtet werden, während es im sechsten Hauptabschnitte unsere Aufgabe sein muss, die Erscheinungen der Translocation plastischer Stoffe, die mit der Entwickelung des Embryo Hand in Hand gehen, näher zu betrachten. Daran reihen sich dann weiter ganz naturgemäss die Untersuchungen über die Abhängigkeit der Wachsthumsprocesse des Embryo von der Wärme sowie dem Lichte etc., und endlich wird im neunten Hauptabschnitte vor allen Dingen die Biologie der Keimpflanzen von physiologischen Gesichtspunkten aus behandelt werden.

Es wird, wie gesagt, im dritten, vierten und fünften Hauptabschnitte unsere Aufgabe sein, die bei der Keimung der Samen zur Geltung kommenden Stoffwechselprocesse zu betrachten. Ich habe mich selbst mit eingehenderen experimentellen Untersuchungen über die bezüglichen Verhältnisse beschäftigt, und die Resultate meiner Untersuchungen, sowie diejenigen anderer Beobachter haben mich zu der Ueberzeugung geführt, dass es für die Orientirung über

die höchst verwickelten Erscheinungen des vegetabilischen Stoffwechsels durchaus erforderlich ist, schärfer, als es bisher geschehen, zwischen gewissen Kategorien der Stoffwechselprocesse und der mit denselben häufig Hand in Hand gehenden Athmungsvorgänge zu unterscheiden. In Nachstehendem will ich auf die bezüglichen Verhältnisse etwas genauer eingehen und einige neue Begriffe, die ich in die Wissenschaft einführen möchte, schärfer charakterisiren.

Während es nicht schwierig ist, genau anzugeben, welchen Vorgang in den Pflanzenzellen man als Assimilationsprocess anzusehen hat [1]), gelingt es keineswegs so leicht, die allgemeinen Merkmale der Stoffwechselvorgänge des vegetabilischen Organismus zu bestimmen. Ich sehe hier auch von dem Versuche, diese Aufgabe zu lösen, ab, da ich mich in einer alsbald in Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik erscheinenden Abhandlung eingehend über den berührten Gegenstand ausgesprochen habe. Nur dies möchte ich betonen, dass Stoffwechselprocesse in den Pflanzenzellen zur Geltung kommen, wenn die Atome organischer Verbindungen zur Bildung neuer organischer Körper zusammentreten, mögen diese Vorgänge von Athmungsprocessen begleitet sein, oder mögen diese letzteren nicht stattfinden. Ich verweise den Leser übrigens auf die folgenden Darstellungen.

Als Athmungsprocesse überhaupt sind diejenigen Vorgänge in den lebenden Pflanzenzellen aufzufassen, welche zu einer Aufnahme oder Abscheidung von Gasen führen. Dieser Satz bedarf indessen einiger Einschränkung, indem die in Folge der Assimilation zur Geltung kommende Kohlensäureaufnahme und Sauerstoffabscheidung, sowie die Vorgänge der Aufnahme solcher indifferenten Gase seitens der Pflanze, die als solche und ohne Veränderungen im Organismus erfahren zu haben, wieder ausgegeben werden, nicht als Athmung betrachtet werden dürfen [2]). Ich komme weiter unten darauf zurück, dass die Athmung der Pflanzen wesentlich in einer Sauerstoffaufnahme und entsprechender Kohlensäureabgabe besteht. Häufig ist die Athmung aber mit alleiniger Kohlensäureabscheidung und zuweilen mit ausschliesslicher Sauerstoffaufnahme verbunden. Auf Grund der neueren

---

1) Ich sehe hier ab von den neuesten, sehr merkwürdigen Untersuchungen Pringsheim's (vgl. Monatsbericht d. Akadm. d. Wissensch. zu Berlin, Juli 1879), da die ausführlichen Mittheilungen des genannten Forschers über die Ergebnisse seiner Beobachtungen noch nicht vorliegen.

2) Dass die Wasserabgabe der Pflanzen in Folge der Transpiration nicht als Athmung aufgefasst werden darf, versteht sich ganz von selbst.

Untersuchungen A. Meyer's[1]) ist sogar zu behaupten, dass gewisse Athmungsprocesse, die in Folge der Zersetzung organischer Säuren unter dem Einflusse des Lichtes in den Pflanzenzellen statthaben, mit alleiniger Sauerstoffabscheidung verbunden sind[2]). Ich habe meine Ansichten über das hier berührte Verhältniss in der demnächst in Pringsheim's Jahrbüchern erscheinenden Abhandlung specieller dargelegt, und will an dieser Stelle nur bemerken, dass es nach meinem Dafürhalten durchaus geboten ist, die Zersetzungsvorgänge der organischen Säuren nicht als Formen des Assimilationsprocesses, sondern als Stoffwechselvorgänge und die Sauerstoffabscheidung demnach als Athmungsprocess aufzufassen[3]). Ueberdies ist noch zu bemerken, dass gewisse Athmungsvorgänge mit einer Wasserstoffabscheidung verbunden sind, und dies ist, soweit bekannt, bei manchen Pilzen der Fall.

Als normale Athmung bezeichne ich diejenige Form der Pflanzenathmung, welche mit Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe eines gleichen Volumen Kohlensäure verbunden ist. In Folge der normalen Athmung erleiden gewisse organische Stoffe in den Pflanzenzellen tiefgreifende Zersetzungen, und neben Kohlensäure werden Wasser, sowie gewisse organische Verbindungen, die namentlich für die Zwecke des Wachsthums verwerthet werden können, gebildet. Fast sämmtliche Pflanzenzellen vermögen nicht zu wachsen, wenn ihnen die Gelegenheit zur normalen Athmung entzogen wird. Dieselbe tritt in reinster Form bei der Entwickelung fettarmer Pflanzentheile, zumal bei der Keimung mancher stärkereichen Samen hervor, und bei der Untersuchung dieser letzteren lässt sich überdies die Thatsache relativ leicht constatiren, dass die normale Athmung stets mit einer Freiwerdung actueller Energie (Wärme) verbunden ist.

Die Vinculationsathmung ist durch eine alleinige Sauerstoffaufnahme ohne Kohlensäureabgabe charakterisirt. Wenn z. B. fettreiche Samen in einem beschränkten Luftvolumen zum Keimen

---

1) Vgl. A. Mayer, Versuchsstationen, B. 18, S. 410 und B. 21, S. 277.

2) An dieser Ansicht muss heute, trotz der übrigens sehr wenig angemessenen Kritik, welche H. de Vries (vgl. landwirthsch. Jahrbücher, B. 5, S. 469) dem Inhalte der zuerst citirten Abhandlung A. Mayer's gegenüber geübt hat, festgehalten werden.

3) Ich gehe von der unerschütterlichen Ueberzeugung aus, dass es für die Pflanzenphysiologie von der äussersten Wichtigkeit ist, allein den Vorgang der Bildung organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser in den grünen Pflanzenzellen unter dem Einflusse des Lichtes als Assimilation aufzufassen.

gelangen, so beobachtet man, dass das Volumen der Luft sich erheblich vermindert. Damit im Zusammenhange steht die Erfahrung, dass der Fettgehalt fettreicher Samen (bestimmt durch Wägung des Rückstandes eines Aetherextractes) nach Hellriegel's[1]) und meinen[2]) Beobachtungen mit beginnender Keimung eine Steigerung erfährt. Gerade so, wie dies die Fette ausserhalb des Organismus vermögen, absorbiren die Fette in den Pflanzenzellen in Contact mit der Luft zunächst eine nicht unerhebliche Sauerstoffmenge, ohne dafür Kohlensäure abzugeben. Mit fortschreitender Keimung steht aber die Vinculationsathmung nicht still. Die Fette gehen, wie später eingehend gezeigt werden soll, in Kohlehydrate über, und dieser Process muss abermals mit einer Sauerstofffixirung verbunden sein. Ueberdies kommt aber während der späteren Keimungsstadien neben der Vinculationsathmung normale Athmung zur Geltung, und dieselbe bedingt, indem sie zur Kohlensäure, sowie Wasserbildung führt, eine Abnahme des Trockensubstanzgehalts der Untersuchungsobjecte. Vinculationsathmung findet ferner in Pflanzenzellen statt, wenn Kohlehydrate unter Sauerstoffaufnahme in Pflanzensäuren, z. B. in Oxalsäure, übergehen[3]).

Die innere Athmung unterscheidet sich nun ganz wesentlich dadurch von der normalen Athmung und der Vinculationsathmung, dass sie nicht, wie diese, mit der Aufnahme freien atmosphärischen Sauerstoffes verbunden ist. Bei dem Zustandekommen der inneren Athmung wird in sehr vielen Fällen Kohlensäure producirt, und der Sauerstoff dieser Kohlensäure entstammt der sich zersetzenden organischen Substanz selbst oder sauerstoffhaltigen Verbindungen, die neben denjenigen Körpern, welche den Kohlenstoff liefern, in den Pflanzenzellen vorhanden sind.

Innere Athmung unterhält jede lebende Pflanzenzelle nach den neuesten merkwürdigen Beobachtungsresultaten, auf die wir später eingehend zurückkommen werden, bis zu ihrem Tode, wenn sie dem Einflusse des freien atmosphärischen Sauerstoffs entzogen wird.

---

1) Vgl. Hellriegel, Journal f. prakt. Chm. Jahrgang 1855. B. 1, S. 94.

2) Vgl. Detmer, Physiologisch-chem. Untersuchungen über die Keimung. Leipzig und Cassel 1875, S. 41.

3) Zuweilen scheinen Pflanzensäuren übrigens nicht durch Oxydations- sondern in Folge von Spaltungsprocessen zu entstehen. Vgl. A. Mayer, Versuchsstationen. B. 21, S. 331.

Unter den angedeuteten Umständen wird auch von gewissen Pflanzenzellen Wasserstoff producirt[1]). Die allermeisten Pflanzenzellen können bei Sauerstoffabschluss nicht wachsen; nur bei einigen Pflanzen (z. B. Sacharomyces cerevisiae sowie Mucorarten) geht mit der inneren Athmung ein ganz normales Wachsthum Hand in Hand. Von innerer Athmung muss, meiner Meinung nach, ebenfalls geredet werden, wenn in den Pflanzenzellen unter Kohlensäureentwickelung auf Kosten von Salpetersäure und Kohlehydraten Proteinstoffe entstehen, oder wenn beim Reifen fettreicher Samen Kohlenhydrate unter Kohlensäureentwickelung in Pflanzenfette übergehen.

Die Insolationsathmung kommt zur Geltung, wenn organische Säuren unter dem Einflusse des Lichtes zur Bildung von Kohlehydraten Verwendung finden. Diese Form der Athmung ist mit Sauerstoffabgabe und einer Anhäufung von potencieller Energie in den producirten Verbindungen verbunden[2]).

Die in den Pflanzenzellen ganz allgemein zur Geltung kommenden Dissociationsprocesse sind dadurch ausgezeichnet, dass sie ohne Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes zu einer Zersetzung organischer Substanzen führen. Nach meiner Auffassung, die ich im dritten Hauptabschnitte eingehender begründen werde, zerfallen die Eiweissstoffe der lebenden Pflanzenzellen (die Lebenseinheiten des Plasma) in Folge intramolekularer Bewegung ihrer Atome unter allen Umständen in stickstoffhaltige Verbindungen sowie stickstofffreie Atomgruppen. Diese letzteren können unter bestimmten Verhältnissen, unter weiterer Dissociation, das Material zur Bildung von Alkohol, Kohlensäure und ferneren Substanzen liefern. Dissociationsprocesse ohne innere Athmung machen sich ferner in den Pflanzenzellen geltend, wenn das Amylum zur Bildung von Dextrin und Maltose Verwendung findet, oder wenn die Glyceride in Glycerin und freie Fettsäuren zerfallen. Diese letzteren Vorgänge finden unter Vermittelung von Fermenten statt.

Im Gegensatz zu den Dissociationsprocessen stehen die Associationsprocesse. Während jene eine Zersetzung organischer Körper herbeiführen, rufen diese die Bildung neuer Verbindungen

---

1) Man vgl. hierüber Müntz, Annal. de chim. et de physique, Ser. 5, T. 8, p. 67.

2) Ich bemerke hier noch einmal mit Nachdruck, dass der den Pflanzensäuren entstammende Sauerstoff als Athmungsproduct und nicht als Assimilationsproduct aufzufassen ist, weil er in Folge von Stoffwechselvorgängen in Freiheit gesetzt wird.

in Folge der Vereinigung organischer Substanzen hervor. Die Entstehung von Eiweissstoffen aus Amiden oder Amidosäuren und stickstofffreien Materien ist z. B. als ein ganz allgemein in den Pflanzenzellen zur Geltung kommender Associationsprocess aufzufassen, und die Kräfte, welche dazu verbraucht werden, sind in Folge der bereits erwähnten Dissociation der Proteinstoffe gewonnen worden.

Das Wesen der Decompositionsprocesse ist darin zu suchen, dass gewisse organische Verbindungen in den Pflanzenzellen unter Bildung von Kohlensäure und Wasser tiefgreifende Zersetzungen erfahren. Diese Vorgänge sind aber mit der Aufnahme freien atmosphärischen Sauerstoffs verbunden, oder sie erfolgen unter Mitwirkung von Sauerstoffatomen, die in Verbindung mit anderweitigen Elementen neben der sich zersetzenden Substanz in den Zellen vorhanden waren. Die Decompositionsprocesse führen immer zu einer Freiwerdung von Wärme, und meistens entstehen in Folge derselben neben den Athmungsproducten organische Verbindungen, die in den Pflanzen verbleiben und zur Bildung neuer Körper Verwendung finden. Decompositionsprocesse, verbunden mit normaler Athmung, kommen in den Pflanzen zur Geltung, wenn die stickstofffreien Dissociationsproducte der Proteinstoffe unter Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs verbrennen und neben Kohlensäure sowie Wasser, organische, für die Zwecke des Wachsthums verwerthbare Verbindungen gebildet werden. Mit innerer Athmung verbundene Decompositionsprocesse vollziehen sich bei der Bildung von Proteinstoffen aus Kohlehydraten und Salpetersäure in den Pflanzenzellen.

In Folge der Processe der Stoffmetamorphose erfahren die organischen Verbindungen keine tiefgreifenden Zersetzungen. Sie werden vielmehr, meist unter Wasseraufnahme und unter Mitwirkung von Fermenten, ihrer Gesammtmasse nach in andere organische Verbindungen übergeführt. Processe der Stoffmetamorphose kommen z. B. in den Pflanzenzellen zur Geltung, wenn Proteinstoffe in Peptone übergehen, oder wenn Maltose, ein Product der Dissociation des Amylum, in Dextrose umgewandelt wird [1]). Ich werde im fünften Hauptabschnitte zeigen, dass es

---

1) Diese Processe sind mit einem Verbrauch von lebendiger Kraft verbunden. Man vgl. Nägeli, Theorie d. Gährung. 1879, S. 54.

von grosser Bedeutung für die Deutung der unmittelbaren Beobachtungsresultate, zu denen man bei dem Studium des pflanzlichen Stoffwechsels gelangt, erscheint, scharf zwischen den Processen der Decomposition und der Stoffmetamorphose zu unterscheiden.

Als plastische Stoffe sind diejenigen Körper zu bezeichnen, welche zur Bildung der organisirten Zellbestandtheile (Cellulosemembranen, Stärkekörner, plasmatische Gebilde) Verwendung finden können. Dextrin, Zuckerarten, Inulin, Fette, Asparagin etc. sind demnach als plastische Stoffe zu betrachten.

Als Degradationsproducte sind solche Substanzen aufzufassen, welche in Folge der Veränderung organisirter Zellbestandtheile entstehen und keine weitere Verwendung zur Bildung neuer organisirter Gebilde erfahren [1]). Als Degradationsproducte sind z. B. anzusehen: Bassorin, Arabin [2]), Lignin, Cutin und die Schleim- sowie Gummisubstanzen der Epidermiszellen mancher Samen und Pericarpien. Ebenso sprechen viele Beobachtungen dafür, dass das Wachs der Cuticula als ein Degradationsproduct des Zellstoffs der Cellulosemembran aufzufassen ist [3]), nur darf dabei nicht übersehen werden, dass der Zellstoff wahrscheinlich zunächst in Cutin, und dieses erst in wachsartige Körper übergeht.

Nebenproducte des Stoffwechsels sind solche Körper, die in Folge von Dissociations- oder Decompositionsprocessen plastischer Stoffe entstehen, aber nicht zur Bildung organisirter Zellbestandtheile Verwendung finden. Vor allen Dingen sind z. B. Kohlensäure, Wasser und Alkohol als Nebenprodukte des pflanzlichen Stoffwechsels aufzufassen. Ferner betrachte ich die Alkaloide, ätherischen Oele, Bitterstoffe, Harze und Glykoside [4]) als Nebenproducte, und man kann sich vorstellen, dass diese stickstoffhaltigen oder stickstofffreien Verbindungen neben plastischen Stoffen in Folge der Dissociation der Lebenseinheiten des Plasma oder der Decomposition der stickstofffreien Dissociationsproducte der Eiweisskörper gebildet werden [5]). Uebrigens will ich bemerken, dass manche Neben-

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl., S. 676.

2) Vgl. Wigand, Pringsheims Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik. B. 3, S. 117.

3) Die Möglichkeit dieser Auffassungsweise wird auch von de Bary (vgl. botan. Zeitung. 1871, S. 614) zugegeben.

4) Die Glykoside sind nicht im strengsten Sinne des Wortes als Nebenproducte aufzufassen, da sie das Material zur Bildung von Glycose, also eines Körpers, der als plastischer Stoff angesehen werden muss, liefern können.

5) Specielleres vergleiche man in meiner demnächst in Pringsheims Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik erscheinenden Abhandlung.

producte des pflanzlichen Stoffwechsels, wenngleich denselben auch keine Bedeutung für die Bildung organisirter Zellbestandtheile zukommt, dennoch gewisse physiologische Functionen im vegetabilischen Organismus zu erfüllen haben. So z. B. werden manche ätherische Oele von intensivem Geruch von den Pflanzenzellen secernirt, um Insecten, die eine Rolle bei den Befruchtungsvorgängen in den Blüthen dieser Gewächse spielen, anzulocken.

Erster Hauptabschnitt.

Der Quellungsprocess der Samen.

Erstes Capitel.

Allgemeine Bemerkungen über die Samen und über die Molekularstructur der organisirten Gebilde derselben.

Man kann viele Früchte und Samen lange Zeit hindurch im lufttrockenen Zustande aufbewahren, ohne dass dieselben äusserlich hervortretende Veränderungen erfahren. Erst dann, wenn die Samen mit Wasser in Berührung gelangen und dasselbe aufnehmen, verändern sie sich in augenfälliger Weise. Es wird der Quellungsprocess eingeleitet; die Keimung beginnt, und die sämmtlichen sich fernerhin bei der Keimung geltend machenden Erscheinungen stehen in innigster Beziehung zur Quellung.

Wenn es sich für uns darum handelt, die Wasseraufnahme seitens der Samen einer genaueren Betrachtung zu unterziehen, so dürfte es zunächst geboten erscheinen, gewisse Verhältnisse zu beleuchten, ohne deren Berücksichtigung es nicht wohl möglich ist, die Eigenthümlichkeiten des Quellungsprocesses in das rechte Licht zu stellen. Es handelt sich zumal darum, den Bau der Früchte und Samen, soweit derselbe in Beziehung zu dem Quellungsvorgange steht, ins Auge zu fassen; vor allen Dingen sehen wir uns aber veranlasst, der Molekularstructur und einige weiteren Eigenthümlichkeiten vegetabilischer Gebilde unsere Aufmerksamkeit zu schenken.

Wenn der Same in Verbindung mit der Mutterpflanze zur Reife gelangt ist, so kommt es in erster Linie darauf an, dass er unter Bedingungen gelangt, die seine Keimung überhaupt ermöglichen. In manchen Fällen sind die aus den Früchten ausfallenden Samen oder die Früchte selbst derartig organisirt, dass sie an dem Orte, an welchen sie unmittelbar nach der Lostrennung

von dem Pflanzenindividuum, das sie erzeugte, gelangen, ruhig verharren [1]). Anders, wenn die Früchte oder Samen in Folge ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit leicht translocirt werden können. In diesem Falle werden sie häufig weit von der Mutterpflanze entfernt und keimen in fremdem Boden. Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, die Vorgänge der Verbreitung von Früchten und Samen eingehender zu behandeln, denn obgleich diese Verhältnisse zu dem Acte der Keimung in genauester Beziehung stehen, so sind dieselben doch keineswegs als Keimungsvorgänge selbst anzusehen. Nur auf einige wichtige Punkte wollen wir hinweisen.

Als Momente, die für die Verbreitung der Früchte und Samen Bedeutung besitzen, sind verschiedene hervorzuheben. In vielen Fällen sind schon die Dimensionsverhältnisse der Früchte und Samen von Bedeutung für die Verbreitung derselben. Kleine Gebilde werden selbst durch einen leisen Windhauch fortgeführt und erfahren somit auf die einfachste Weise eine Verbreitung. Aber häufig sind die Früchte und Samen, was ein grosses biologisches Interesse beansprucht, mit besonderen Vorrichtungen, nämlich mit eigenthümlichen Flugapparaten behaftet, deren Vorhandensein selbstverständlich von grossem Einfluss auf den Vorgang der Pflanzenwanderung sein muss, und es beansprucht, wie von vornherein zu betonen ist, Interesse, dass hier, wie es auch sonst häufig der Fall ist, morphologisch sehr verschiedene Gebilde doch physiologisch gleichwerthig erscheinen.

Die Epidermiszellen der Samen von Gossypium wachsen zu langen Wollhaaren aus, welche die Verbreitung der Samen durch den Wind wesentlich erleichtern. In anderen Fällen, wenn die Samen nicht aus der Frucht ausfallen, entwickeln sich mit dem Pericarpium in Verbindung stehende Pflanzentheile zu Flugapparaten. Dies ist insbesondere bei den Früchten der Compositen der Fall [2]). Die Achaenien vieler Compositen (z. B. Cichoriaceen, Cynareen) tragen eine aus Haaren oder Federchen gebildete Krone als Pappus. In anderen Fällen ist ein flügelartiger Pappus vorhanden. Zuweilen ist die gesammte Oberfläche der Compositenfrucht mit Haaren dicht bedeckt. Bei den Repräsentanten der Gattung Dahlia bilden sich die mit den Achaenien in unmittelbar-

---

1) Früchte und Samen, die derartig organisirt sind, wie wir es hier im Sinne haben, können natürlich, wenn sie in Wasser gelangen, einen Transport erfahren. Wir kommen auf dies Verhältniss weiter unten zurück.

2) Vgl. hierüber Hildebrand: Botan. Zeitung. 1872. S. 1.

stem Zusammenhange stehenden Spreublättchen der Blüthen membranös und flügelartig aus. Interessant sind in der hier in Rede stehenden Beziehung auch die zierlichen Federbüschel an den Grannen der Aristidaarten [1]).

In vielen Fällen erfolgt die Verbreitung der Früchte und Samen nicht unter Vermittelung der Luftströmungen, sondern unter Beihülfe des Wassers. Die Pflanzentheile werden entweder unmittelbar durch Wellen oder Wasserströmungen fortgeführt, oder sie gerathen zunächst auf Treibholz oder Treibeis und mit diesem in ferne Gegenden [2]).

Endlich darf nicht unerwähnt bleiben, dass den Thieren eine Bedeutung für die Verbreitung der Pflanzen zukommt. Der Pappus der Achaenien von Bidens ist mit Widerhaken versehen; bei den Arten der Gattung Lappa tragen die Involucralblätter an ihrer Spitze einen Haken. Derartige mit Widerhaken versehene Pflanzentheile können sich natürlich manchen Thieren leicht anhängen, und auf diese Weise kommt die Verbreitung der Samen nicht selten zu Stande. Ebenso ist hier von Wichtigkeit, dass manche Früchte den Thieren zur Nahrung dienen. Die Samen werden in vielen Fällen kaum von den Verdauungssecreten des animalischen Organismus angegriffen, und können mit den Excrementen der Thiere an Orte gerathen, die sich für ihre Entwickelung eignen.

Die Samen gelangen entweder ohne besondere Umhüllungen oder in Pericarpien eingeschlossen an diejenigen Orte, welche sich für ihre Keimung eignen. Trockene Springfrüchte (Hülsen, Schoten oder Kapseln), ebenso aber auch saftige Springfrüchte entlassen die in ihnen zur Reife gelangten Samen. In vielen Fällen empfängt aber der Boden die in Fruchthüllen eingeschlossenen Samen, und dann ist es natürlich von besonderer Wichtigkeit, in welcher Weise sich die einzelnen Gewebe des Pericarpiums entwickelt haben [3]). Die einsamigen, trockenen Schliessfrüchte (Gräser) besitzen ein dünnes, lederartiges Pericarp; dasselbe setzt dem Eindringen des Wassers und der Entwicklung des Embryo keinen energischen Widerstand entgegen. Anders, wenn wir es z. B. mit einer Steinfrucht zu thun haben. Diese saftigen Schliessfrüchte besitzen ein dünnes Epicarp, ein dickes Mesocarp von pulpöser Beschaffenheit

---

1) Verschiedene Aristidaarten vermögen sich selbst auf dem dürren Sande der Sahara zu entwickeln. Vgl. Grisebach's Vegetation der Erde. Bd. 2, S. 90.

2) Vgl. Grisebach: Die Vegetation der Erde. Bd. 1. S. 64.

3) Noch complicirter gestalten sich die Verhältnisse, wenn man es mit Scheinfrüchten zu thun hat.

und ein steinhartes, den Samen unmittelbar umschliessendes Endocarp. In diesem Falle ist die Entwickelung des Embryo wesentlich erschwert, denn die inneren Gewebe des Pericarpiums stellen der Wasseraufnahme der Samen, sowie dem Sauerstoffzutritt zu denselben erhebliche Hindernisse in den Weg.

Wir wenden dem Bau der Fruchtschalen hier keine weitere Aufmerksamkeit zu [1]). Dagegen dürfen wir nicht versäumen, die Samenschalen etwas genauer ins Auge zu fassen. Aber ich will von vornherein bemerken, dass es durchaus nicht unsere Aufgabe sein kann, die Verhältnisse, welche sich auf den Bau derselben beziehen, eingehender zu beleuchten. Vielmehr kommt es nur darauf an, einige wichtige Momente hervorzuheben [2]).

Die Bedeutung der Testa für den Keimungsprocess ist eine mannigfaltige. Es ist wohl denkbar, dass gewisse in den Zellen der Samenschalen vorhandene Stoffe als plastisches Material für die Entwicklung des Embryo Verwendung finden können. Allein es darf als sicher angenommen werden, dass die Testa als Reservestoffbehälter höchstens eine sehr untergeordnete Rolle spielt. Schröder [3]) sowie ich [4]) haben nämlich festgestellt, dass die Substanzverluste, welche die Testa bei der Keimung der Samen erleidet, sehr unbedeutend sind.

In anderer Hinsicht ist die Function der Samenschalen in hohem Grade beachtenswerth. Im letzten Hauptabschnitt dieser Schrift komme ich noch eingehender auf die bezüglichen Verhältnisse zurück; hier sei z. B. nur daran erinnert, dass die Samenschale in vielen Fällen ein festes und widerstandsfähiges Gebilde repräsentirt, welches dem Embryo Schutz vor nachtheiligen Einflüssen, zumal vor solchen, die demselben von Seiten der Thiere drohen, gewährt.

---

1) Eingehende Untersuchungen über den Bau trockener Pericarpien hat z. B. Kraus (vgl. Pringsheims Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik. Bd. 5, S. 83) ausgeführt.

2) Es sei hier bemerkt, dass die den Samen unmittelbar umgebenden und kurzweg als Samenschale oder Testa bezeichneten Gewebemassen, sich nicht immer allein aus den Integmenten der Samenknospe entwickeln. Man vgl. z. B. Lohde: (Ueber die Entwicklungsgeschichte und den Bau einiger Samenschalen, Naumburg, 1874, S. 17), sowie Höhnel (Sitzungsberichte d. Akademie d. Wissensch. in Wien, 1876).

3) Vgl. Schröder, Versuchsstationen. B. 10. S. 493.

4) Vgl. Detmer, Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. B. 2. H. 4. Nach meinen Beobachtungen verminderte sich das Trockensubstanzgewicht der Testa von 5 Erbsen während 5tägiger Keimung der Samen bei 19—20° C. um 0.0005 Grm.

Sehr beachtenswerth sind die Beziehungen zwischen der Beschaffenheit der Testa und dem Verlaufe der Quellung. Das Gewebe der Samenschalen besitzt häufig eine Beschaffenheit, durch welche das Aufquellen der Samen in hohem Grade erschwert wird. In anderen Fällen führen aber gerade gewisse Gewebepartien der Testa eine sehr beschleunigte Wasseraufnahme seitens der Samen herbei. Einige Bemerkungen über den anatomischen Bau der Samenschalen dürften nach dem Gesagten wohl Interesse beanspruchen.

Den Bau der Testa der Papilionaceensamen können wir ganz im Allgemeinen und ohne Berücksichtigung specieller Verhältnisse etwa wie folgt charakterisiren [1]):

Unmittelbar unter der mehr oder minder entwickelten Cuticula befindet sich die Pallisadenschicht (Epidermis), die aus langen cylindrischen, radial gestellten Zellen besteht. Diese Zellen sind noch durch Leisten verdickt. Die Pallisadenschicht wird im äusseren Theil von einer das Licht stark brechenden Zone, der sogen. Lichtlinie durchzogen [2]). Unter der Pallisadenschicht liegt eine einfache Lage säulenartiger Zellen. Daran schliesst sich ein Gewebe, welches aus mehreren Lagen stark zusammengedrückter Zellen besteht, und schliesslich betheiligen sich an der Zusammensetzung der Samenschale der Papilionaceen noch Gewebemassen, die nicht aus den Integmenten der Samenknospe hervorgegangen sind, sondern sich im Embryosack entwickelt haben und dem entsprechend als Endospermreste aufgefasst werden müssen. In manchen Fällen ist die zellige Structur gewisser Partieen dieses Gewebes im ungequollenen Zustande gar nicht zu erkennen. Erst nach erfolgtem Quellen in Wasser oder Kalilauge lassen sich die einzelnen Zellen deutlich erkennen, und dieselben spielen, wie weiter unten eingehender gezeigt werden soll, in Folge ihres erheblichen Quellungsvermögens eine nicht unwichtige Rolle bei der Wasseraufnahme seitens der Samen.

Die Testa der Samen von Cruciferen ist, so weit wir darüber orientirt sind, im Allgemeinen nach ein und demselben Typus gebaut und besteht aus 5 oder 6 Schichten, von denen allerdings die äusseren je nach der Art des Samen manche Verschieden-

---

1) Vgl. Sempolowski, Beiträge zur Kenntniss des Baues der Samenschale. Inaugural-Dissertat. Leipzig, 1874. Ferner Höhnel in Haberlandts wissenschaftlich-praktischen Forschungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. B. 1. S. 30. Endlich vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 20. S. 82.

2) Die Lichtlinie kommt ebenfalls bei Samen aus der Familie der Cannaceen vor.

heiten in ihrer Structur zeigen. Schröder[1]), Tietschert[2]), Höhnel[3]), Sempolowski[4]) und andere haben die Testa von Cruciferensamen genauer studirt, und wir theilen hier kurz einige Resultate mit, die der zuletzt genannte Forscher bei seinen Untersuchungen über die Samenschale von Brassica Napus hiemalis (Winterraps) erhielt.

Die Natur der äussersten Schicht der Testa lässt sich bei Behandlung der Samenschale mit Wasser noch nicht deutlich erkennen. Die Schicht erscheint unter diesen Umständen nämlich als ganz homogen. In Aetzkali quillt sie nicht erheblich auf, aber es treten Andeutungen der Lumina länglich gestreckter Zellen hervor. Entwickelungsgeschichtliche Untersuchungen haben gezeigt, dass diese Zellenschicht entsteht, indem die entsprechenden Zellen unreifer Samen nach und nach abgeplattet und bei fortschreitender Reife bis zur Unkenntlichkeit in einen schmalen Zellenstreifen zusammengepresst werden. Es folgt nun eine einfache Lage von Zellen, die im unteren Theile stark verdickt, im oberen aber mit dünnen Wänden versehen sind. Die nächstfolgende Schicht wird von zwei bis drei Reihen dünnwandiger, tangential gestreckter, zusammengedrückter Zellen gebildet. Diese Zellen führen im reifen Samen einen braunen, in Kalilauge löslichen Farbstoff. Die Zellen der folgenden Schicht (Plasmaschicht) führen einen Plasmainhalt und reichliche Fettquantitäten. Die innerste Schicht der Testa erscheint in Berührung mit Wasser als eine homogene Masse, in der hier und da unterbrochene Längsstreifen auf Querschnitten sichtbar sind. In Berührung mit Kalilauge lässt die in Rede stehende Schicht ihre Structur deutlicher erkennen, und man findet dann, dass sie aus drei bis fünf Reihen tangential gestreckter, sehr stark zusammengedrückter Zellen besteht. In den Zellen ist sehr feinkörniges und fetthaltiges Plasma vorhanden.

Die Untersuchungen Sempolowski's sind mit grosser Sorgfalt durchgeführt, und die gewonnenen Resultate haben ganz wesentlich dazu beigetragen, uns genauere Kenntnisse über den Bau der Testa der Samen von Cruciferen zu verschaffen. Es sei hier

---

1) Vgl. Schröder, Versuchsstationen. B. 14. S. 170.

2) Vgl. Tietschert, Keimungsversuche mit Roggen und Raps. Halle, 1872. S. 75.

3) Vgl. Höhnel in Haberlandts wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. B. 1. S. 171.

4) Vgl. Sempolowski, Beiträge zur Kenntniss des Baues der Samenschale. Inaugural-Diss. Leipzig, 1874.

noch auf einige Angaben hingewiesen, welche der genannte Forscher in seiner Abhandlung über die Structur der Samenschale von Camelina sativa mittheilt.

Zumal zeigt die Epidermis der Testa von Camelina in ihrem Bau und ihren Eigenschaften grosse Verschiedenheit im Vergleich zu den entsprechenden Zellschichten der Samen von Brassicaarten. Die Epidermis besteht aus farblosen, gallertartig verdickten, in Berührung mit Wasser sehr stark aufquellenden Zellen. Dieselben wölben sich beim Befeuchten kegelförmig nach Aussen aus, und die Cuticula zerreisst in Folge dessen an einigen Stellen. Man kann in den Zellmembranen drei Schichtencomplexe unterscheiden, die sich in Berührung mit Jod und Schwefelsäure mehr oder minder intensiv blau färben. Die Cuticula färbt sich braun.

Der Bau der Testa der Leinsamen ist ebenfalls von Sempolowski studirt worden. Die Zellen der Epidermis sind polygonal und radial gegen die Samenoberfläche gerichtet. Sie quellen in Wasser stark auf und umgeben den gesammten Samen mit einem Schleim. Hofmeister[1]) hat in einer vortrefflichen Abhandlung nachgewiesen, dass es die bis zum Verschwinden des Lumen der Zellen verdickten Zellmembrane sind, welche den Schleim liefern. Unter der Epidermis liegt eine Schicht tangential gestreckter, mit Intercellularräumen versehener Parenchymzellen. In den Zellen trifft man gelbliches, feinkörniges Plasma, sowie Fetttröpfchen an. An diese beiden Zellschichten der Testa des Leinsamen reihen sich vier weitere an, von denen die eine farbstoffhaltig ist[2]). Ueber die Natur des Schleims, der bei der Quellung mancher Samen auftritt, werden wir uns später etwas ausführlicher aussprechen.

Sehr eigenthümlich ist der Bau der Testa der Samen von

---

1) Vgl. Hofmeister, Berichte d. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. 1858. S. 26.

2) Ueberblicken wir das Gesagte, so zeigt sich, dass diejenigen Schichten der Testa, welche besonders viel Wasser aufsaugen können, nicht immer die äussersten sind. Ganz besonders wichtig und eigenthümlich ist das Verhalten der Epidermiszellen der hier zuletzt genannten Samen, da durch die Schleimbildung der Quellungsprocess wesentlich befördert wird. Uebrigens ist zu bemerken, dass, wie Hofmeister ebenfalls in seiner citirten Abhandlung hervorhebt, auch die Epidermis anderer Samen, z. B. von Sisymbrium Irio, Lepidium sativum, Pyrus Cydonia, in Berührung mit Wasser Schleim liefert. Bei den Samen von Cruciferen, des Leins, der Quitte etc. sind nach Hofmeister insbesondere die Aussenwände der Zellen stark verdickt. In andern Fällen sind es aber die Seitenwandungen der Zellen, welche die Verdickungen zeigen.

Cucurbitaceen [1]). Nach Höhnel besteht dieselbe aus zehn verschiedenen Schichten, von denen die innersten in allen Fällen sehr gleichartig ausgebildet sind und sich aus Gewebepartieen des Knospenkerns entwickelt haben [2]).

Wir wenden nunmehr denjenigen Theilen der Samen, die von der Testa umschlossen werden, noch einige Aufmerksamkeit zu.

Bei den Gymnospermen entsteht das Endosperm bereits lange vor der Befruchtung der Eizelle. Bei Mono- und Dicotyledonen beginnt die Endospermbildung dagegen erst nach der Befruchtung. Der Umfang und die Beschaffenheit des Endospermgewebes zeigen bei den verschiedenen Samenspecies erhebliche Differenzen. In manchen Fällen sind die Membranen der Endospermzellen dickwandig, in anderen sind sie sehr zart ausgebildet; zuweilen entwickelt sich das Endosperm in ganz bedeutendem Masse, unter Umständen nimmt dasselbe nur einen ganz kleinen Raum im Samen ein. Selten, z. B. bei Tropaeolum, Najadeen und Potamogetoneen, ist die Endospermbildung rudimentär und nur auf das vorübergehende Erscheinen einiger Zellkerne oder Zellen beschränkt; selbst diese rudimentäre Endospermbildung kann, wie es scheint, unterbleiben (Canna) [3]).

In der Regel vergrössert sich der Umfang des Embryosacks in Folge der Endospermbildung bedeutend, und es findet eine Verdrängung des Knospenkerngewebes statt. Nur selten bildet sich dieses letztere zu einem mit Reservestoffen angefüllten Gewebe von bedeutender Mächtigkeit (Perisperm) aus. Bei Canna fehlt das Endosperm gänzlich; das Perisperm ist dagegen mächtig entwickelt. Den Samen der Piperaceen und Nymphaeaceen ist ein kleines Endosperm und zugleich ein zu erheblicher Grösse ausgebildetes Perisperm eigenthümlich.

Endosperm sowie Perisperm sind ins Besondere in sofern für die Entwickelung des Embryo von Bedeutung, als die genannten

---

1) Vgl. Höhnel, Sitzungsber. d. Akademie d. Wissensch. in Wien 1876 und Fickel: Botan. Zeitung, 1876.

2) Sehr einfache Verhältnisse zeigt der Bau der Testa bei Gramineensamen, z. B. bei Secale cereale und Triticum vulgare. Der Same wird von der dünnen Fruchtschale überzogen, und die Testa besteht nur aus zwei Schichten, von denen die äussere das Vorhandensein von zwei Lagen erkennen lässt. Die innere Schicht spielt zumal bei der Quellung der Samen eine wichtige Rolle. Vgl. Tietschert, Keimungsversuche mit Roggen und Raps, Halle, 1872, S. 34 und Ekkert: Ueber Keimung, Bestockung und Bewurzelung der Getreidearten, Inaugural-Dissert. Leipzig, 1873. S. 4.

3) Vgl. Sachs, Lehrbuch der Botanik. 1874. S. 564.

Gewebemassen diejenigen Stoffe enthalten, deren der Keim bedarf, um wachsen zu können. Das Endosperm sowie das Perisperm repräsentiren demnach Reservestoffbehälter; die Zellen sind mit Reservestoffen (Stärkekörnern, Fettmengen, Proteinkörnern) angefüllt, und in dem Masse als die Ausbildung des Embryo fortschreitet, verschwinden diese Gebilde aus den Zellen der genannten Gewebe [1]).

Der Embryo besteht zuweilen, z. B. bei Monotropa und Pyrola secunda, nur aus wenigen Zellen. Meistens repräsentirt der Embryo aber ein wohl gegliedertes Gebilde; er besteht dann gewöhnlich aus einem Axenkörper, ein oder mehreren Cotyledonen und der Plumula [2]).

Bei vielen Dicotyledonen erlangen die Cotyledonen sehr beträchtliche Grösse. Sie verdrängen das bereits vorhandene Endosperm und ihre Zellen füllen sich mit Reservestoffen an. Es muss demnach mit besonderem Nachdruck betont werden, dass Endosperm, Perisperm und Cotyledonen, wenn sie gleich morphologisch durchaus nicht mit einander zu identificiren sind, doch physiologisch in sofern als gleichwerthige Gebilde angesehen werden müssen, als sie sämmtlich Reservestoffbehälter repräsentiren.

Um zu einem tieferen Verständnisse der bei der Quellung zur Geltung kommenden Processe zu gelangen, ist es nun noch erforderlich, etwas genauer auf die Molekularstructur vegetabilischer Gebilde, sowie auf einige fernere Eigenthümlichkeiten derselben einzugehen [3]).

1) Zuweilen verdicken sich die Endospermzellen derartig, dass das Gewebe hornartig oder steinhart wird. Das erstere ist z. B. bei der Dattel der Fall, während man bei Phytelephas ein steinhartes Endosperm antrifft.

2) Es dürfte nicht überflüssig sein, hier wenigstens in aller Kürze darauf hinzuweisen, in welch eigenthümlicher Weise sich der Embryo unter Umständen entwickelt. Derartiges ist z. B. bei den Gramineen der Fall. Der Embryo liegt nicht im Endosperm, sondern er berührt dasselbe nur seitlich. Der Cotyledo der Gräser besteht, abgesehen von dem rein zelligen, dem Schildchen gegenüberliegenden Läppchen, welches übrigens häufig nicht vorhanden ist, aus zwei von einander unterscheidbaren Partieen. Man hat es nämlich einerseits mit dem zum Aufsaugen der Reservestoffe dienenden Schildchen (scutellum), andererseits mit einer scheidenförmig ausgebildeten Partie, der Cotyledonarscheide, zu thun, welche den Keim zu schützen hat. Man vgl. Sachs, botan. Zeitung, 1862, Nr. 19; van Tieghem, Annal. d. sc. nat., Ser. 5, T. 15, p. 246; Ekkert, über Keimung, Bestockung und Bewurzelung der Getreidearten, Inaugural-Dissert. Leipzig, 1873.

3) Ein organisirtes Gebilde ist ein Syntagma, welches in Berührung mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur begrenzter Quellung fähig ist. Was man unter Syntagma zu verstehen hat, soll weiter unten eingehender dargelegt werden.

Nachdem bereits mehrere Forscher, namentlich Ehrenberg[1]) und H. v. Mohl[2]), das Polarisationsmikroskop zur Untersuchung pflanzlicher Gebilde in Anwendung gebracht hatten, hat in erster Linie Nägeli derartige Studien in ausgedehnter Weise fortgesetzt. Derselbe ist durch seine sorgfältigen Beobachtungen zu Resultaten geführt worden, die von ausserordentlicher Bedeutung für die Erkenntniss mannigfacher Vorgänge im vegetabilischen Organismus geworden sind. Wir stellen die folgenden Worte Nägeli's an die Spitze unserer Erörterungen[3]):

„Die organisirten Substanzen bestehen aus krystallinischen, doppeltbrechenden (aus zahlreichen Atomen zusammengesetzten) Molekülen, die lose, aber in bestimmter, regelmässiger Anordnung neben einander liegen. Im befeuchteten Zustande ist, in Folge überwiegender Anziehung, jedes mit einer Hülle von Wasser umgeben; im trockenen Zustande berühren sie sich gegenseitig. In der organisirten Substanz ist demnach eine doppelte Cohäsion vorhanden; die eine verbindet die Atome zu Molekülen, in gleicher Weise wie dieselben sonst zusammentreten, um einen Krystall zu bilden; die andere vereinigt die Moleküle“[4]).

Nägeli war bereits früher bei dem Studium der Molekularstructur vegetabilischer Gebilde, speciell der Stärkekörner, zu der Ansicht gelangt, dass die Massentheilchen (Moleküle) derselben nicht Kugelgestalt besitzen können[5]). Die Moleküle hielt Nägeli auf Grund seiner scharfsinnigen, hier nicht weiter auszuführenden Entwickelungen vielmehr für polyedrisch. Mit Hülfe des Polarisationsmikroskops liess sich weiter nachweisen, dass Stärkekörner, Zellmembranen sowie Krystalloide jene schönen Interferenzfarben hervortreten lassen, wie dieselben optisch zweiaxige Krystalle ebenfalls im polarisirten Lichte erzeugen, und nunmehr stand für Nägeli die Ansicht fest, dass den Molekülen der genannten vegetabilischen Gebilde die Natur von Krystallen zukäme. Uebrigens hat sich Nägeli, bevor er die geltend gemachten Anschauungen definitiv aussprach, die Frage vorgelegt, ob die optischen Er-

---

1) Vgl. Ehrenberg, Berichte d. Verhandl. d. Berliner Akademie. 1849. S. 55.

2) Vgl. H. v. Mohl: Botan. Zeitung. 1858. S. 1.

3) Vgl. Nägeli, Sitzungsber. d. Akademie d. Wissensch. zu München. 1862. B. 1. S. 311.

4) Es ist wohl zu beachten, dass Nägeli's „Atome“ dem entsprechen, was wir heute als Moleküle bezeichnen. Nägeli's „Moleküle“ repräsentiren somit in Wirklichkeit Aggregate von Molekülen.

5) Vgl. Nägeli, Stärkekörner. 1858. S. 333.

scheinungen, welche Zellhäute etc. im polarisirten Licht erkennen lassen, nicht etwa in Folge des Vorhandenseins von Spannungsverhältnissen in den organisirten Gebilden entstehen möchten. Dies erscheint auf den ersten Blick um so wahrscheinlicher, als erhitztes Glas, in welchem bekanntlich Spannungen zur Geltung kommen, im polarisirten Licht optische Erscheinungen zeigt, die denjenigen ähnlich sind, welche durch organisirte Gebilde hervorgerufen werden können. Allerdings ist durch Nägeli nachgewiesen worden, dass in Stärkekörnern Spannungsverhältnisse existiren; in der Cuticula bestehen aber die entgegengesetzten Spannungen, und doch hat das Ellipsoid der Aetherdichtigkeit die gleiche Lage wie im Stärkekorn. Wenn ferner Spannungsverhältnisse der organisirten Gebilde die Ursache des Hervortretens der optischen Erscheinungen wären, so müssten diese theilweise oder gänzlich verschwinden, wenn man Stärkekörner oder Zellmembranen in kleine Stücke zerschneidet, indem die Spannungen sich alsdann ja ausgleichen können. Das ist aber keineswegs der Fall; die kleinsten Stückchen eines Stärkekorns oder einer Membran verhalten sich nach Nägeli im polarisirten Lichte den unversehrten Gebilden analog. Um die Unhaltbarkeit der Annahme, wonach Spannungsverhältnisse das Verhalten organisirter Gebilde im polarisirten Licht bedingen, so recht klar hervortreten zu lassen, führt Nägeli das Folgende an[1]):

„Wenn man einen Glasfaden biegt, so genügt eine sehr unbedeutende Ausdehnung oder Zusammenziehung, um deutliche optische Veränderungen hervorzurufen.“ Es heisst dann an einer anderen Stelle:

„Ganz andere Erscheinungen ergeben die durchdringbaren organisirten Substanzen. Man kann die Schichten einer mit Wasser durchtränkten Caulerpamembran durch Biegen und Falten aus einander ziehen und verkürzen, so dass die Differenz zwischen den beiden Extremen einer Verlängerung von 42 % oder einer Verkürzung von 30 % gleichkommt, ohne eine dem Auge bemerkbare Aenderung in den Interferenzfarben hervorzubringen, während beim anisotrop gewordenen Glasfaden eine Dilatation von 0.001 (also $^1/_{10}$ %) genügt, um die Farbe merklich zu modificiren“[2]).

---

1) Vgl. Nägeli, Sitzungsber. d. Akademie d. Wissensch. zu München. 1862. Bd. 1. S. 309 u. 310.

2) Nach diesen Bemerkungen ist es nicht mehr erforderlich, auf die Darlegungen J. N. C. Müller's (vgl. dessen botan. Untersuchungen, 4. Heft, S. 134) über die Molekularstructur organisirter Gebilde näher einzugehen.

Es ist bereits darauf hingewiesen worden, dass die Massentheilchen der organisirten Gebilde im trockenen Zustande derselben einander berühren. Wenn sie aber in Contact mit Wasser gerathen, so werden jene Masseneinheiten von einander entfernt, und dieser Vorgang, den man als Imbibition bezeichnet, ist mit Volumenzunahme der organisirten Gebilde verbunden. Daraus erhellt, dass die Stärkekörner etc. sich dem Wasser gegenüber nicht etwa wie poröse Körper (Thonmassen, Schwämme) verhalten, denn es dringt die Flüssigkeit durchaus nicht in bereits vorhandene Poren oder Hohlräume ein, sondern sie treibt die Masseneinheiten erst aus einander und jedes Molekül (im Sinne Nägeli's) der organisirten Gebilde umgiebt sich mit einer Wasserhülle. Die Anziehungskraft, welche die Moleküle auf die Wassertheilchen ausüben, ist bedeutender als diejenige, welche die Moleküle unter einander verbindet. Andererseits lehrt die Erfahrung, dass die Imbibition unter gewöhnlichen Umständen eine gewisse Grenze nicht überschreitet, dass die Theilchen der organisirten Gebilde, wenn sie bis auf eine gewisse Entfernung aus einander gerückt sind, nunmehr stärkere Anziehungskräfte auf einander als auf Wassermoleküle auszuüben vermögen. Mit zunehmender Entfernung der Theilchen der Stärkekörner, Zellmembranen etc. von einander muss die Anziehung der Moleküle unter einander langsamer abnehmen, als die Anziehung derselben den Wassertheilchen gegenüber [1]).

Wir werden weiter unten sehen, dass sich Stärkekörner, die mit Wasser in Contact gerathen, nicht gleichmässig mit der Flüssigkeit imbibiren. Vielmehr gelingt es leicht, wasserärmere und wasserreichere Regionen in den organisirten Gebilden zu unterscheiden. Daraus folgert Nägeli [2]) scharfsinnig, dass die Krystallmoleküle der Stärkekörner nicht sämmtlich die nämliche Grösse besitzen können. Besässen sämmtliche Krystallmoleküle thatsächlich dieselbe Grösse, so müssten sie sich auch mit gleich grossen Wasserhüllen umgeben, da dies aber nicht der Fall ist, so muss man schliessen, dass den Molekülen verschiedene Dimensionsverhältnisse eigenthümlich sind. Und zwar hat Nägeli gezeigt, dass die wasserreicheren Partien der Stärkekörner aus kleineren, die wasserärmeren aber aus grösseren Krystallmolekülen bestehen müssen [3]).

---

1) Vgl. Nägeli, Stärkekörner. S. 345.

2) Vgl. Nägeli: Ebendaselbst. S. 333.

3) Diese Anschauungen haben nicht allein für die Stärkekörner Gültigkeit, sie sind vielmehr ebenfalls auf andere organisirte Gebilde zu übertragen.

Nägeli hat es unterlassen, die Anschauungen, welche er sich über die Molekularstructur der Stärkekörner, Zellhäute und Krystalloide gebildet hatte, ebenfalls auf das Plasma zu übertragen. Dies ist zuerst von Sachs geschehen [1]). Und in der That lässt sich die Vorstellung, dass die Substanz des Plasma, der Zellkerne sowie der protoplasmatischen Grundmasse der Chlorophyllkörper in Gestalt isolirter Moleküle (im Sinne Nägeli's) vorhanden ist, die sich, selbst für Wasser undurchdringlich, bei dem Zustandekommen der Imbibition mit Wasserhüllen umgeben, sehr wohl mit den bekannten Thatsachen in Einklang bringen. Uebrigens ist zu bemerken, dass es bis jetzt nicht gelungen, mit Hülfe des polarisirten Lichtstrahls Aufschluss über die krystallinische Natur der Plasmatheilchen zu erlangen; möglich wäre es aber immerhin, dass das Plasma aus Krystallmolekülen, die dem regulären System angehören, bestände.

Nach den Vorstellungen der modernen Chemie sind diejenigen Gebilde, welche Nägeli als Krystallmoleküle bezeichnet hat, als Aggregate von Molekülen aufzufassen. Ein jedes dieser Aggregate besteht aus sehr vielen Stärke-, oder Zellstoffmolekülen etc., und jedes dieser einzelnen Moleküle ist aus Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatomen zusammengesetzt. Es ist daher ein glücklicher Gedanke Pfeffer's gewesen, die Moleküle Nägeli's als Tagmen zu bezeichnen [2])[3]). Die organisirten Gebilde (Stärkekörner, Zellhäute, plasmatische Gebilde) repräsentiren demnach Syntagmen, und den einzelnen aus Molekülen zusammengesetzten Tagmen derselben ist in vielen Fällen bestimmt die Krystallbeschaffenheit eigenthümlich.

In der citirten Schrift geht Pfeffer von dem Grundgedanken aus, dass es möglich sein müsse, durch das Studium der Eigenschaften von Niederschlagsmembranen zu einer tieferen Erkenntniss mancher Erscheinungen im Pflanzenleben zu gelangen.

Wenn man die Lösungen bestimmter Substanzen mit einander in Berührung bringt, so bildet sich unter geeigneten Umständen an der Contactfläche der Lösungen ein Membranbeschaffenheit besitzender Niederschlag. Bekanntlich hat bereits Traube [4])

---

1) Vgl. Sachs, Experimentalphysiologie der Pflanzen. 1865. S. 443.

2) Vgl. Pfeffer, Osmotische Untersuchungen. 1877. S. 32.

3) Die Tagmen repräsentiren dieselben Gebilde, welche von Nägeli und Schwendener (vgl. das Mikroskop, 2. Aufl., 1877, S. 424) als Micellen bezeichnet werden.

4) Vgl. Traube, Botan. Zeitung. 1875. S. 56. Traube hat bereits im

Niederschlagsmembranen dargestellt und den Satz ausgesprochen, dass jeder Niederschlag, dessen Interstitien kleiner sind, als die Moleküle seiner Componenten, bei Berührung der Lösungen seiner Componenten Membranbeschaffenheit annehmen muss.

Pfeffer stellte die Niederschlagsmembranen, mit denen er experimentirte, in der Weise dar, dass er Thonzellen zunächst sorgfältig mit Wasser injicirte, dieselben darauf in eine Lösung von Kupfersulfat stellte, während er in das Innere der Zellen Ferrocyankaliumlösungen brachte. Die beiden Membranogene mussten nunmehr in die sie trennende Thonmasse eindringen und dort, wo sie einander begegneten, eine Niederschlagsmembran von Ferrocyankupfer bilden. Pfeffer hat die Eigenschaften seiner Membranen sehr eingehend studirt. Ich komme auf manche Resultate dieser Untersuchungen bei anderer Gelegenheit zurück, und möchte hier nur auf die Vorstellungen hinweisen, welche sich der genannte Beobachter über die Molekularstructur seiner Membranen gebildet hat.

Es ist höchst wahrscheinlich, dass die Moleküle sich in sehr vielen Fällen nicht unmittelbar zur Bildung von Körpermassen vereinigen, sondern dass zunächst Aggregate von Molekülen entstehen, die ihrerseits erst zu Körpermassen zusammentreten [1]). Die Aggregate von Molekülen bezeichnet Pfeffer, wie bemerkt worden, als Tagmen, und die Körpermassen selbst demnach als Syntagmen. Eine Niederschlagsmembran ist nach des genannten Forschers Auffassung als ein Syntagma anzusehen. Die Atome der Membranogene vereinigen sich zu Molekülen. Diese werden durch Cohäsionskräfte zu Tagmen verbunden, und schliesslich ist es abermals die Cohäsion, welche die Tagmen zum gesammten Syntagma vereinigt.

Wenn zwei Flüssigkeiten durch eine Niederschlagsmembran von einander getrennt sind, und wenn sich nun Diffusionserscheinungen geltend machen, so müssen die diosmosirenden Substanzen die Membran passiren. Als diosmotische Wege sind ins Besondere die intertagmatischen Räume von Wichtigkeit. Wenn die diosmosirenden Körper in die Constitution der Tagmen einzu-

---

Jahre 1867 Untersuchungen über Niederschlagsmembranen im Archiv f. Anatomie und Physiologie von du Bois-Reymond und Reichert mitgetheilt.

1) Vgl. besonders Pfeffers Bemerkungen auf S. 33 und 34 seiner citirten Schrift.

treten vermögen, so können diese letzteren selbst als diosmotische Wege von Bedeutung sein[1]).

Zweites Capitel.

Specielles über die organisirten Gebilde der Samen.

Als organisirte Gebilde der Samen sind die Stärkekörner, die Zellmembranen und die plasmatischen Gebilde in den Zellen anzusehen, und wir müssen denselben an dieser Stelle unsere specielle Aufmerksamkeit zuwenden.

Die Stärke kommt als Reservestoff in vielen Samen vor[2]).

---

1) Es sei hier darauf hingewiesen, dass die experimentellen Arbeiten mit Niederschlagsmembranen, wie Pfeffer sie ausführte, zumal auch deshalb von grossem Interesse sind, weil sie uns den Weg zeigen, in welcher Weise es möglich ist, Diffusionserscheinungen unter Anwendung solcher Membranen zu studiren, die in ihrer Beschaffenheit gewissen Gebilden der Pflanzenzellen entschieden näher stehen, als die bis jetzt zu derartigen Beobachtungen benutzten Häute. Namentlich ist es auch schwierig, Stücke von Schweinsblase oder Pergamentpapier zu bekommen, welche frei von wirklichen Löchern sind. (Vgl. Sachs, Lehrbuch d. Botanik, 1874, S. 643). Unter Benutzung von Niederschlagsmembranen hat Pfeffer nun Resultate bei der Ausführung von Diffusionsversuchen erhalten, die in der That merkwürdig genug sind. (Man vergleiche besonders die bemerkenswerthen und interessanten Ergebnisse, welche auf S. 73 der Arbeit Pfeffers mitgetheilt werden.)

Was die Molekularstructur der Niederschlagsmembranen anbelangt, so sei noch hervorgehoben, dass die Anschauungen, welche sich unser Autor über dieselbe gebildet hat, allerdings, wie derselbe selbst bemerkt, hypothetischer Natur sind, aber entschieden dem geistigen Bedürfnisse nach tieferer Einsicht in mannigfache Vorgänge Rechnung tragen. Wichtig ist, dass Pfeffers Vorstellungen über die Molekularstructur der Niederschlagsmembranen sich eng an diejenigen Nägeli's über die Beschaffenheit organisirter pflanzlicher Gebilde anschliessen.

Die Auseinandersetzungen Pfeffers im physiologischen Theile seines Werkes wollen wir hier nicht eingehender beleuchten; Pfeffer hat es sich namentlich zur Aufgabe gemacht, die Beschaffenheit des Plasma genauer zu studiren, und er unterscheidet an demselben zunächst das Hyaloplasma und das Körnerplasma. (Vgl. auch Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung, 1876, II. Aufl., S. 286.) Die diosmotisch bestimmende Schicht des Protoplasma wird als Plasmamembran bezeichnet, und zwar kann nun eventuell das gesammte Hyaloplasma oder nur der äussere Theil desselben Plasmamembran sein. Ebenfalls sollen die Vacuolen im Protoplasma allseitig von einer Plasmamembran umschlossen sein. Die Plasmamembran sieht Pfeffer als Niederschlagsmembran an, eine Auffassung, gegen welche sich manche Bedenken geltend machen lassen. Wir kommen auf Pfeffers Ansicht an einer andern Stelle dieses Buches zurück.

2) Zu bemerken ist, dass Samen, in denen man in völlig reifem Zustande keine Stärke nachweisen kann, während ihrer Entwickelung Amylum enthalten.

Es enthalten z. B. die Repräsentanten der folgenden Pflanzenordnungen in diesem oder jenem Theile ihrer Samen Amylum[1]): Gnetaceen, Gramineen, Cyperaceen, Juncaceen, Cannaceen, Aroideen, Thyphaceen, Nymphaeaceen, Droseraceen (ein Theil derselben), Papilionaceen u. s. w. Andere Samen sind dagegen im völlig reifen Zustande durchaus frei von Stärke; dann findet man selbstverständlich anderweitige stickstofffreie Reservestoffe, ins Besondere Fett, in ihnen vor. Die Vertheilung der Stärke im Samen ist nicht immer dieselbe. Oft enthält der Embryo keine Spur von Stärke, sondern Fett als wesentlichsten stickstofffreien Reservestoff. Dies ist z. B. bei den Samen von Gramineen der Fall. Nur selten enthält das Endosperm keine, der Embryo aber Stärke neben Oel. Kommt Stärke im Endosperm vor, so ist sie in demselben nicht gleichmässig vertheilt. Die peripherischen Zellschichten des Endosperm der Samen des Weizens und Roggens etc. enthalten wenig Amylum; nach dem Centrum zu folgen Zellschichten, die immer reicher an Stärkekörnern werden, während die Proteinkörner mehr in den Hintergrund treten[2]).

Bei mikroskopischer Betrachtung erweisen sich die Stärkekörner als solide, mehr oder minder rundliche Gebilde. Die Grösse der Stärkekörner ist sehr verschieden. Nägeli theilt über dies Verhältniss unter anderem die folgenden Angaben mit, welche sich auf die Maxima des grössten Durchmessers der Stärkekörner beziehen[3]).

Samenspecies.	Grösster Durchmesser in Mikromillm.
Acacia Melanoxylon	4
Bromus mollis	5
Fagus silvatica	6
Canna indica	21
Laurus nobilis	23
Secale cereale	48
Pisum sativum	65

Diese und weitere Angaben Nägeli's gestatten den Schluss, dass wir es in der Grösse der Amylumkörner nicht mit einem Verhältniss zu thun haben, welches in Beziehung zu der systematischen Stellung der Pflanzen steht. Vielmehr kommt es oft vor,

1) Diese und viele andere Angaben, die hier in Betracht kommen werden, entnehmen wir dem vortrefflichen Werke Nägeli's über die Stärkekörner.

2) Vgl. Ekkert: Ueber Keimung, Bestockung und Bewurzelung der Getreidearten. Inaugural-Dissert. Leipzig, 1873, S. 4.

3) Die Angaben beziehen sich auf einfache, nicht auf zusammengesetzte Stärkekörner.

dass Samen nahe verwandter Pflanzen Amylumkörner von sehr verschiedener Grösse besitzen.

Die Stärke ist eine recht hygroskopische Substanz. W. Nossian[1]) fand, dass bei 100 ° C. getrocknetes Amylum, wenn dasselbe längere Zeit bei 17—20 ° in einer 73 % Feuchtigkeit enthaltenden Atmosphäre verweilte, die folgende Wassermenge absorbirte:

Weizenstärke	6.94 %	Buchweizenstärke	10.85 %
Roggenstärke	10.01 „	Reisstärke	10.89 „
Maisstärke	10.53 „	Eichelstärke	11.96 „

Von den hier aufgeführten Amylumsorten vermag also die Roggenstärke die geringste, die Eichelstärke die grösste Wasserdampfmenge zu verdichten.

Sehr merkwürdig ist die Thatsache, dass die Stärkekörner eine Schichtung erkennen lassen. Haben die Körner eine gehörige Grösse erreicht, so sieht man, dass sie aus Schichten bestehen, die um einen Mittelpunkt gruppirt sind, der aber meist nicht mit dem mathematischen Centrum des Kornes identisch ist. Betrachtet man ein frisches Stärkekorn genauer unter dem Mikroskop, so findet man, dass von aussen nach innen abwechselnd dichtere und minder dichte Schichten auf einander folgen. Wenn man die Amylumkörner mit wasserentziehenden Mitteln, z. B. mit absolutem Alkohol, behandelt, so verschwindet die Schichtung. Die Schichtung wird also dadurch bedingt, dass das Verhältniss zwischen Wasser und Amylumsubstanz nicht in allen Theilen des Stärkekorns dasselbe ist. Die dichter erscheinenden Schichten sind die wasserärmeren, die weniger dicht erscheinenden die wasserreicheren. Der Wassergehalt der Stärkekörner nimmt im Allgemeinen von innen nach aussen hin ab. Der Gesammtwassergehalt eines frisch aus einer Kartoffelknolle entnommenen Amylumkorns beträgt etwa 40 %; andere Stärkekörner sind noch wasserreicher.

Erwärmt man Amylum gemeinsam mit Wasser, so beginnt bei etwa 50 ° C. das Aufquellen der Körner[2]). Die Stärkekörner vergrössern sich, die äusseren Theile derselben werden zersprengt und schliesslich bildet die Gesammtmasse der Stärke mit dem Wasser eine mehr oder minder dicke, homogene Masse, in der von der Organisation der Stärkekörner durchaus nichts mehr zu

---

1) W. Nossian, Journal f. prakt. Chm. B. 83. S. 41.

2) Die Temperatur, bei der das Amylum in Berührung mit warmem Wasser aufzuquellen beginnt, ist für verschiedene Stärkesorten nicht dieselbe.

erkennen ist[1]). Wenn man das Wasser durch Erwärmen vertreibt, so erhält man eine hornige Masse, die nicht mehr in Berührung mit Wasser aufquillt. Lässt man den Kleister gefrieren und trennt die nach dem Aufthauen vorhandene Flüssigkeit durch Auspressen von der festen Substanz, so repräsentirt diese nach dem Trocknen eine schwammartige, lockere Masse, die, wenn man sie mit kochendem Wasser behandelt, allerdings etwas aufquillt, aber mit der Flüssigkeit keinen Kleister mehr bildet.

Vor allen Dingen ist darauf hinzuweisen, dass wir es in der Stärke nicht mit einem chemischen Individuum zu thun haben. Nägeli[2]) ist es gelungen, im Stärkekorn das Vorhandensein von zwei verschiedenen Substanzen sicher nachzuweisen. Er behandelte nämlich Amylum bei 40—47 ° C. mit Speichel, und es zeigte sich, dass die Stärke einen Theil ihrer Substanz an die Flüssigkeit abgab, während ein anderer Theil zurückblieb[3]). Die extrahirte Substanz wird als Granulose, der Rückstand aber als Stärkecellulose bezeichnet. Wenn man die Granulose mit Jod in Berührung bringt, so zeigt sie die charakteristische Stärkereaction. Die Stärkecellulose färbt sich in Berührung mit Jod und Schwefelsäure blau; Jod allein ertheilt der Stärkecellulose eine rothgelbe oder bräunliche Farbe. Interessant ist, dass, trotzdem die Stärkekörner nur etwa zu 2—6 $^0/_0$ aus Stärkecellulose bestehen, diese nach der Entfernung der Granulose noch die gesammten Structurverhältnisse des unveränderten Amylumkorns zeigt. Es existiren, abgesehen vom Speichel, noch andere Mittel, die Granulose von der Stärkecellulose zu trennen. So habe ich noch kürzlich Erbsensamen und Keimungsproducte derselben mit Malzextract behandelt und constatiren können, dass die Granulose dabei Veränderungen unterliegt, während die Stärkecellulose von der vorhandenen Diastase zunächst nicht angegriffen wird. Auch unter Benutzung von verdünnter Säure kann man der Stärke bei gewöhnlicher Temperatur die Granulose entziehen; nach Angaben von Sachsse[4]) erfolgt die Extraction unter Anwendung von Salzsäure weit schneller als unter Benutzung von Schwefelsäure. Nach Fr. Schulze erhält man sehr reine Stärke-

---

1) Diese Mischung von Wasser und Stärke bezeichnet man im gewöhnlichen Leben als Kleister.

2) Vgl. Nägeli, Stärkekörner. S. 121.

3) Der wirksame Stoff des Speichels ist bekanntermassen das Ptyalin.

4) Vgl. Sachsse: Die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlehydrate und Proteinsubstanzen. Leipzig, 1877. S. 123.

cellulose bei der Behandlung von Amylum mit einer concentrirten Chlornatriumlösung, welche 1$\frac{0}{0}$ wasserfreie Salzsäure enthält. Wenn man auf 1 Theil Stärkemehl 36—40 Theile der Flüssigkeit benutzt und die Masse bei 60° digerirt, so hat man bereits nach 2—4 Tagen seinen Zweck erreicht [1]).

Wenn man Stärke mit kochendem Wasser behandelt und die Flüssigkeit nun filtrirt, so kann man in dem Filtrate mit Hülfe von Jod die Gegenwart grosser Amylumquantitäten constatiren. Zu einem ganz andern Resultat gelangt man, wenn man unverletzte Stärkekörner mit Wasser von gewöhnlicher Zimmertemperatur in Berührung lässt und das Filtrat auf Stärke prüft. Es zeigt sich, dass nicht die geringste Granulosemenge in der Flüssigkeit vorhanden ist. Zertrümmert man Stärkekörner, indem man sie zusammen mit Quarzsand in einer Schale zerreibt [2]), so gelingt es, aus der Masse mit Hülfe kalten Wassers geringe sich mit Jod blau färbende Granulosequantitäten zu extrahiren [3]). Kaltes Wasser ist also nicht im Stande, in Berührung mit unverletzten Amylumkörnern, Granulose aus denselben aufzunehmen, eine Thatsache, die ein grosses pflanzenphysiologisches Interesse besitzt. Im vollkommenen Einklange mit derselben steht nämlich die Beobachtung, dass es niemals gelingt, in der lebenden Pflanze das Vorhandensein einer Granuloselösung nachzuweisen. Wir kommen später noch einmal auf das hier berührte Verhältniss zurück.

Was die chemische Zusammensetzung des Amylum anbelangt, so entspricht der Formel $C_6H_{10}O_5$ ein Gehalt an Kohlenstoff von 44.45 $^0/_0$, an Wasserstoff von 6.15 $^0/_0$ und an Sauerstoff von 49.40 $^0/_0$. Es ist aber zu bemerken, dass die Resultate der vorhandenen Stärkeanalysen meist mehr oder weniger erhebliche Abweichungen von diesen Zahlen zeigen [4]). Uebrigens haben wir es hier mit einer durchaus verständlichen Erscheinung zu thun, denn wir müssen bedenken, dass es äusserst schwierig ist, absolut reines Amylum aus Pflanzentheilen abzuscheiden.

---

1) Vgl. über einige weitere Verhältnisse, die zu den berührten in Beziehung stehen, bei W. Nägeli, Beiträge zur näheren Kenntniss der Stärkegruppe. Leipzig, 1874, S. 45.

2) Der Sand hat nur den Zweck, das Zertrümmern der Stärkekörner zu erleichtern.

3) Ich habe oft beobachtet, dass, wenn man Stärke mit verdünntem Alkohol kocht und filtrirt, in der Flüssigkeit keine Granulose nachgewiesen werden kann.

4) Vgl. die Zusammenstellungen von Sachsse in seiner Chem. und Physiolog. d. Farbstoffe etc. S. 88.

Die Stärke erleidet, wenn sie mit mehreren Körpern in Berührung gelangt, merkwürdige Veränderungen. Namentlich hat man die Wirkung der Diastase auf Stärke eingehender studirt. Früher war man der Meinung, dass die Stärke in Berührung mit Diastase successive in Dextrin und dieser Körper weiter in Traubenzucker überginge. Musculus[1]) sowie E. Schulze und M. Märcker[2]) haben aber gezeigt, dass diese Auffassung nicht dem thatsächlichen Sachverhalte entspricht. Vielmehr wird die Stärke in Berührung mit Diastase unter Wasseraufnahme in Dextrin und eine Zuckerart (Maltose) gespalten. Wirkt Speichel auf Stärke ein, so bildet sich unter Vermittelung des Ptyalins Traubenzucker.

Wenn man Stärke mit Wasser kocht und dann, nachdem eine völlige Verkleisterung eingetreten ist, einige Tropfen Schwefelsäure zu der Flüssigkeit setzt und dieselbe weiter erhitzt, so resultirt eine vollkommen klare Flüssigkeit[3]). Die Lösung zeigt allerdings noch auf Zusatz von Jod die Stärkereaction, aber es haben sich gewiss bereits dextrinartige Substanzen gebildet[4]). Erhitzt man jetzt weiter, so bilden sich Dextrin und Traubenzucker, und zwar entsteht zunächst von der letzteren Substanz um so mehr, je grösser die benutzte Schwefelsäurequantität war. Schliesslich ist nur noch Traubenzucker in der Flüssigkeit vorhanden.

Behandelt man Stärke in der Wärme mit verdünnter Kalilauge, nachdem man das Amylum vorher durch Kochen mit Wasser gehörig verkleistert hat, so erhält man, wovon ich mich oft überzeugte, eine vollkommen klare Flüssigkeit, die beim Filtriren keinen Rückstand auf dem Filter hinterlässt[5]).

Erwähnung mag die Thatsache finden, dass die Stärke im

---

1) Vgl. Musculus, Annales de Chem. et de Phys. (3) T. 60 p. 203; Comptes rendus. T. 54, p. 194.

2) Vgl. E. Schulze und M. Märcker, Journal f. Landwirthschaft. 1872. S. 57.

3) W. Nägeli (vgl. dessen Beiträge zur näheren Kenntniss der Stärkegruppe, S. 97) giebt an, dass bei dem Erhitzen von Stärkemehl mit verdünnter Säure ein Rückstand bleibt. Ich fand dies nicht bestätigt. Möglich, dass ich zu andern Resultaten wie Nägeli gelangte, weil ich das Amylum vor dem Säurezusatz mit Wasser längere Zeit zum Zweck einer völligen Verkleisterung kochte.

4) Vgl. auch Musculus, Comptes rendus. T. 78, p. 1413.

5) Die Reactionen, welche sich geltend machen, wenn Amylum mit Säuren oder Alkalien behandelt wird, sind zwar vielfach studirt worden, aber noch lange nicht in genügender Weise aufgeklärt. So viel steht aber wohl fest, dass die Säuren keine Spaltung des Amylum wie Diastase bewirken, sondern dass die Stärke successive in Dextrin und dieses in Zucker übergeführt wird.

Stande ist, sich mit Metalloxyden und mit Säuren zu verbinden [1]). Das Verhalten des Jods zum Amylum wollen wir hier nicht eingehender besprechen; wir müssen voraussetzen, dass der Leser im Allgemeinen über dasselbe orientirt ist, und eine eingehende Behandlung des Gegenstandes würde hier viel zu weit führen [2]).

Die Zellmembranen repräsentiren wie die Stärkekörner organisirte vegetabilische Gebilde. Vor allen Dingen ist zu betonen, dass die Zellhäute stets eine gewisse Wassermenge enthalten. Zellmembranen jüngerer Zellen enthalten im Allgemeinen mehr Wasser als diejenigen älterer. Wir haben uns auch hier wieder vorzustellen, dass das Wasser zwischen den Tagmen der Zellhaut eingelagert ist. Aber die Tagmen ein und derselben Zellhaut besitzen nicht gleiche Grösse, denn es zeigt sich bei genauer Untersuchung, dass die Membranen aus wasserärmeren und wasserreicheren Theilen bestehen. Auf diese Weise kommt, was von Nägeli zuerst mit Bestimmtheit ausgesprochen wurde [3]), die Schichtung und Streifung der Zellmembranen zu Stande.

Die Verhältnisse der Schichtung und Streifung der Zellmembranen sind in den verbreiteten Werken von Sachs unter Zugrundelegung der Resultate der Forschungen Nägeli's so klar dargestellt [4]), dass es durchaus überflüssig erscheint, den Gegenstand hier näher zu beleuchten. Es mögen hier nur einige Bemerkungen Nägeli's über die in Rede stehenden Verhältnisse Platz finden [5]):

„Eine Membran lässt sich also in drei Richtungen in Lamellen zerlegen, die alternirend aus wasserreicherer und wasserärmerer Substanz bestehen, und die sich in ähnlicher Weise wie die Blätterdurchgänge eines Krystalls kreuzen. Die Lamellen der einen Richtung sind die Schichten, die der beiden anderen die zwei Streifungssysteme. Die letzteren können sich fast unter jedem Win-

---

1) Noch kürzlich hat Tollens (vgl. Journal f. Landwirthschaft, 1873, S. 375) eine Verbindung von Amylum mit Kali untersucht.

2) Nägeli (vgl. Sitzungsber. d. königl. bayer. Akdm. d. Wiss., 1863, B. I, S. 161) spricht sich über das Verhalten der Stärke zum Jod in eingehender Weise aus.

3) Vgl. Nägeli, Stärkekörner. S. 63.

4) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie, S. 424 und Lehrbuch d. Botanik, 1874, S. 29.

5) Vgl. Nägeli, Sitzungsber. d. königl. bayer. Akdm. d. Wissensch. 1864. B. I. S. 297.

kel schneiden; beide stehen auf den Schichtenlamellen, wie es scheint, in den meisten Fällen rechtwinkelig."

Wenn man ganz junge Zellen, z. B. solche aus Vegetationspuncten, untersucht, so scheinen die Zellmembranen derselben in der That ausschliesslich aus Wasser und Cellulosesubstanz zu bestehen. Hofmeister[1]) giebt an, dass die Membranen mancher ganz jungen Zellen keine Asche beim Verbrennen hinterlassen. Wenn die Zellen etwas älter werden, so trifft man in den Membranen bereits Mineralstoffe an, und überdies erleidet die Cellulosesubstanz der Membranen wesentliche Veränderungen, indem dieselbe sich zum Theil in Körper umwandelt, die sich hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften von dem Zellstoffe unterscheiden. Der Zellstoff der Membranen kann entweder eine Cuticularisirung (Verkorkung), eine Verholzung oder endlich eine Verschleimung erfahren.

Die Cellulose repräsentirt eine geruch- und geschmacklose Substanz, welche, je nach der Muttersubstanz, aus der sie dargestellt wurde, bald seidenglänzend, bald hornig erscheint. Die Cellulose wird fast von keiner Flüssigkeit aufgelöst; nur Kupferoxydammoniaklösung nimmt sie auf, und man kann den Zellstoff aus dieser Lösung durch Zusatz von Salzsäure abscheiden. Auch Kohlensäure fällt die Cellulose aus ihrer Lösung aus; ja selbst dann tritt eine Abscheidung der Substanz ein, wenn man zu ihrer Lösung viel Wasser hinzufügt und dieselbe ruhig stehen lässt[2]). Die auf die eine oder die andere Weise aus der Lösung abgeschiedene, ausgewaschene und getrocknete Cellulose enthält nur sehr geringe Quantitäten fremder Stoffe (Mineralstoffe). O. L. Erdmann[3]) erhielt bei der Untersuchung des aus Kupferoxydammoniakflüssigkeit abgeschiedenen Zellstoffes auf seinen Kohlenstoff- sowie Wasserstoffgehalt Werthe, die fast genau mit den aus der Formel $C_6H_{10}O_5$ berechneten übereinstimmten. In der Regel werden die Zellmembranen der Pflanzentheile nicht unmittelbar von dem Kupferoxydammoniak aufgelöst; dies geschieht erst, wenn man die Zellhäute durch Behandlung mit Säuren und Alkalien etc. von Substanzen, die man gemeinsam als Nichtcellulose bezeichnen kann, befreit hat. Die rohe Baumwolle ist jedoch zum Theil unmittelbar löslich in Kupferoxydammoniak, und

1) Vgl. Hofmeister, Die Lehre v. d. Pflanzenzelle. 1867. S. 241.

2) Man vgl. übrigens die ausführlichen Angaben von Sachsse: Die Chemie und Physiologie d. Farbstoffe, Kohlehydrate und Proteinkörper etc. 1877. S. 134.

3) Vgl. O. L. Erdmann, Journal f. prakt. Chem. B. 76. S. 385.

die Spiralfasern von Collomiasamen lösen sich gänzlich ohne weitere Vorbereitung darin auf.

Nur in seltenen Fällen (Sporenschläuche der Flechten) färben sich Zellmembanen in Berührung mit Jod direct blau. Meist ertheilt das Jod den Membranen nur eine gelbe oder bräunliche Färbung. Wenn man das Jod aber bei Gegenwart sogen. assistirender Substanzen (Schwefelsäure, Jodkalium, Chlorzink etc.) auf die Zellhäute einwirken lässt, dann allerdings tritt der blaue Farbenton hervor. In welcher Weise die assistirenden Substanzen hier wirken, ist noch nicht genau festgestellt [1]).

Schliesslich sei bemerkt, dass die Cellulose, wenn man sie z. B. längere Zeit mit Schwefelsäure behandelt, in Dextrin und Zucker umgewandelt wird. Wahrscheinlich ist, dass die entstehenden Producte mit denjenigen identisch sind, welche sich bei der Behandlung von Amylum mit Schwefelsäure bilden.

Wenden wir nunmehr den Substanzen, welche durch Cuticularisirung des Zellstoffes entstehen, unsere Aufmerksamkeit zu, so ist in erster Linie zu betonen, dass die Cuticula fast die ganze Oberfläche der höheren Pflanzen überzieht [2]). Namentlich ist die Cuticula an der Oberfläche vieler Blätter und Internodien kräftig entwickelt; dagegen ist es oft schwieriger, ihr Vorhandensein an submersen Organen und Wurzeln zu constatiren [3]). Auch die Samen sind von der Cuticula überzogen, und sie bildet hier, wie immer, die äusserste Hautlamelle der Epidermiszellen. Der Kork, welcher sich an älteren Pflanzentheilen ausbildet, ist von ganz ähnlicher Natur wie die Substanz der Cuticula.

Der Kork und die Cuticula repräsentiren Gemenge verschiedener Substanzen. Es scheint immer noch ein bestimmtes Quantum von Cellulose vorhanden zu sein; ferner begegnet man in den Cuticular- und Korkmassen Mineralstoffen, fett- und wachsartigen Körpern sowie stickstoffhaltigen Verbindungen und namentlich erheblichen Cutin- resp. Suberinmengen. Diese beiden Körper

---

1) Nägeli, (Sitzungsber. d. königl. bayr. Akdm. d. Wiss., 1863, B. I, S. 483) spricht sich in umständlicher Weise über das Verhalten des Jods zu Zellmembranen aus.

2) Die Cuticula fehlt nur am Vegetationspunkt der Wurzeln. Vgl. de Bary, Vergleichende Anatomie d. Vegetationsorgane d. Phanerogamen und Farne. 1877 S. 79.

3) Wenn man diese Pflanzentheile mit Jod und Schwefelsäure behandelt, so lässt sich das Vorhandensein der Cuticula nachweisen, indem diese sich dann gelb oder gelbbraun färbt. Bemerkt sei noch, dass die Cuticula unlöslich in Schwefelsäure ist, von kochender Kalilauge aber aufgenommen wird.

sind wahrscheinlich nicht von einander verschieden. Man bezeichnet nur vorläufig den Hauptbestandtheil des Korks als Suberin, denjenigen der Cuticula aber als Cutin. Durch die Untersuchungen Mitscherlichs[1]) und Fremys[2]) hat sich heraus gestellt, dass Suberin und Cutin weit mehr Kohlenstoff und Wasserstoff als die Cellulose enthalten.

Wir führten bereits an, dass in der Cuticula Fett und Wachs angetroffen werden[3]). Das Vorkommen derartiger Verbindungen in Gemeinschaft mit dem Cutin ist um so interessanter, als dieser letztere Körper entschieden in naher Beziehung zu den ersteren steht. Dies zeigt sich nicht nur darin, dass die procentische Zusammensetzung der Fette derjenigen des Cutins ähnlich ist, sondern vor allen Dingen in dem Umstande, dass das Cutin, wenn dasselbe Oxydationsprocessen unterworfen wird, die gleichen Producte wie die Fette, nämlich Bernsteinsäure und Korksäure, liefert. Man wird somit zu der Folgerung gedrängt, dass das Cutin das Material zur Bildung des Fettes und des Wachses der Cuticula liefert, und dass es als Uebergangsglied zwischen der Cellulose und den Fetten aufzufassen ist. Es ist hier nicht der Ort, diese Anschauung eingehender zu begründen; sie erscheint aber bei dem heutigen Standpunkte unserer Erkenntniss als die naturgemässeste.

Den Umwandlungsprocess der Cellulose, welchen wir als Verholzung derselben bezeichnet haben, hat man allerdings in erster Linie an dem eigentlichen Holze verschiedener Pflanzen selbst studirt; indessen es muss betont werden, dass die Substanz der Verdickungsschichten gewisser Zellen der Samen (vor allen Dingen der Elementargebilde der Samenschalen) in manchen Fällen ganz gewiss grosse Aehnlichkeit mit der Substanz der Verdickungsschichten des gewöhnlichen Holzes besitzt.

Das Holz besteht aus verschiedenen Substanzen. Vor allen Dingen treffen wir in demselben Cellulose und kohlenstoffreichere Verbindungen an, die man mit dem gemeinsamen Namen „Lignin“ bezeichnet hat. Das Lignin ist also kein chemisches Individuum, vielmehr besteht es wahrscheinlich aus verschiedenen Kör-

---

1) Vgl. Mitscherlich, Annal. d. Chem. und Pharm. B. 75. S. 305.

2) Vgl. Fremy, Compt. rend. B. 48. S. 667. Viele der Angaben Fremys sind mit sehr grosser Vorsicht aufzunehmen.

3) Ueber das Vorkommen von Wachs und Fett in der Cuticula hat de Bary (vgl. botan. Zeitung, 1871, S. 129, 145 etc.) sehr eingehende Untersuchungen angestellt.

pern. Um die Cellulose von dem Lignin zu trennen, leistet das Schulzesche Verfahren unter Benutzung von chlorsaurem Kali und Salpetersäure [1]), welches von Henneberg [2]) etwas modificirt worden ist, sehr gute Dienste. Wird das angeführte Macerationsverfahren in Anwendung gebracht, so erleiden die Ligninsubstanzen eine vollkommene Oxydation, und die Cellulose bleibt zurück. Die Zusammensetzung des Lignins kann man durch $C_{18}H_{24}O_{10}$ ausdrücken [3]), eine Formel, welche nur insofern Werth hat, als sie uns, verglichen mit der Formel der Cellulose, Anhaltspuncte zur Beurtheilung der Processe gewährt, welche stattfinden müssen, wenn Cellulose in Lignin umgewandelt wird. Nach Sachsses beachtenswerthen Angaben kann man sich den dabei stattfindenden Vorgang durch die folgende Formelgleichung veranschaulichen [4]):

$$\underset{\text{Cellulose}}{C_{24}H_{40}O_{20}} - C_6H_6O_5 - 5H_2O = \underset{\text{Lignin.}}{C_{18}H_{24}O_{10}}$$

Die abgespaltene Gruppe $C_6H_6O_5$ kann bei der Bildung des Lignins in anderweitige Verbindungen (Gerbsäure) übergehen, oder es liegt auf der anderen Seite die Möglichkeit vor, dass sie unter Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffes eine vollkommene Verbrennung zu Kohlensäure und Wasser erfährt.

Die chemische Natur des Lignins ist noch sehr wenig erforscht. Die Substanz scheint dem Suberin und Cutin nahe zu stehen; Benzolderivate sind im Lignin wie im Suberin und Cutin nicht vorhanden [5]).

Wir haben bereits oben darauf hingewiesen, dass die Epidermiszellen mancher Samen schleimig verdickt sind, und hier ist der Ort, die Substanzen, welche diese Verschleimung herbeiführen, etwas näher ins Auge zu fassen. Vor allen Dingen ist zu bemerken, dass die Verdickungsmassen nicht in allen Fällen die nämliche Natur besitzen, und dass sich ebenfalls mit Rücksicht auf ihre Entstehung Verschiedenheiten constatiren lassen. Was das erstere Verhältniss anbelangt, so sind einzelne Verdickungsmassen als eigentliche Pflanzenschleime, andere hingegen als Gummiarten zu betrachten. Die Pflanzenschleime sind der Cellulose nahe stehende Substanzen; sie unterscheiden sich aber zumal durch ihr

1) Vgl. Schulze, Chem. Centralblatt. 1857. S. 321.
2) Vgl. Henneberg, Zeitschrift f. analyt. Chemie. B. 8. S. 479.
3) Vgl. Sachsse: Die Chemie u. Physiol. d. Farbstoffe etc. S. 145.
4) Vgl. Sachsse: Ebendaselbst. S. 146.
5) Vgl. Stutzer, Versuchsstationen. 1875. S. 364.

enormes Aufquellungsvermögen von dieser. Die Pflanzenschleime färben sich in Berührung mit Jod leicht blau; sie liefern bei der Behandlung mit Salpetersäure Oxalsäure, und keine Schleimsäure. Die Gummiarten verhalten sich in Berührung mit Wasser ähnlich wie die Pflanzenschleime. Bei der Behandlung mit Jod oder mit Jod und Schwefelsäure färben sie sich aber nicht blau. Wirkt Salpetersäure auf Gummiarten ein, so entsteht Schleimsäure.

Was die Entstehung der schleimigen Verdickungsmassen der Epidermiszellen der Samen anbelangt, so bilden sich diese Substanzen in manchen Fällen wohl durch Metamorphose des Zellstoffes fertiger Zellmembranen. In andern Fällen scheinen in den Zellen vorhandene Körper unmittelbar das Material zur Bildung der Verdickungsmassen zu liefern. Frank[1]), der sich mit den hier in Rede stehenden Verhältnissen eingehend beschäftigt hat, hebt, gestützt auf die Resultate entwickelungsgeschichtlicher Arbeiten, hervor, dass der Leinsamenschleim z. B. wahrscheinlich aus Amylum entsteht, das in den jugendlichen Epidermiszellen in reichlichen Quantitäten vorhanden ist, später aber mehr und mehr verschwindet. Der Quittenschleim scheint zum Mindesten seiner Gesammtmasse nach nicht auf diese Weise entstehen zu können.

Den Leinsamenschleim kann man gewinnen, indem man die Leinsamen mit kaltem Wasser behandelt, und die Flüssigkeit dann mittelst Durchpressen durch Leinwand von den Samenrückständen trennt. Die Flüssigkeit ist kalt kaum filtrirbar. Erhitzt man dieselbe aber zum Sieden, so lässt sie sich filtriren, und man erhält ein trübes Filtrat, welches beim Erkalten mehr und mehr dickflüssig wird. Verdampft man das Wasser, so erhält man eine amorphe, sich mit Jod und Schwefelsäure nicht blau färbende Masse. Der Leinsamenschleim gehört also zu den Gummiarten. Der Schleim der Flohsamen ist dem Leinsamenschleim sehr ähnlich[2]).

Der Quittenschleim gehört zu den eigentlichen Pflanzenschleimen. Wenn man die Samen mit Wasser behandelt, und die Samenrückstände von der Flüssigkeit trennt, so zeigt sich, das dieselbe nicht homogener Natur ist. Beim Filtriren durch Papier erhält man eine homogene Flüssigkeit, und auf dem Filter bleibt ein gallertartiger Schleim zurück. Beim Eindampfen der wässrigen Lösung erhält man eine amorphe, glasige Masse, die sich mit

1) Vgl. Frank, Pringsheims Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik. B. 5. S. 161.

2) Vgl. über das hier Gesagte und das Folgende Franks Angaben im Journal f. praktische Chemie. B. 95. S. 479.

Jodlösung nach dem Eintrocknen weinroth färbt. Fügt man nun etwas Wasser hinzu, so macht sich eine bald wieder verschwindende Blaufärbung bemerkbar. Schwefelsäure und Jod erzeugen dagegen eine recht beständige, tiefblaue Färbung.

Bringt man den in Wasser unlöslichen Theil des Quittenschleims zur Trockne, so erhält man ebenfalls eine amorphe Masse, die sich zu Jod und Schwefelsäure in derselben Weise wie der lösliche Theil verhält [1]).

Neuerdings haben Kirchner und Tollens [2]) den Quittenschleim eingehender untersucht. Nach der Anschauung dieser Forscher stellt der Schleim eine chemische Verbindung von Cellulose und einem gummiartigen Körper dar, und er lässt sich durch Behandlung mit Säuren leicht in diese beiden Bestandtheile zerlegen. Der Spaltungsprocess wird durch die folgende Formelgleichung zum Ausdruck gebracht:

$$\underbrace{C_{18}H_{28}O_{14}}_{\text{Schleim.}} + H_2O = \underbrace{C_6H_{10}O_5}_{\text{Cellulose.}} + \underbrace{2C_6H_{10}O_5}_{\text{Gummi.}}$$

Bei der Einwirkung der Säure auf den Schleim wird ein Theil des entstehenden Gummis nach Kirchner und Tollens sogleich in eine Zuckerart übergeführt. Uebrigens sind verschiedene Angaben der genannten Forscher nicht mit denjenigen anderer Beobachter in Einklang zu bringen, so dass weitere Untersuchungen über den Quittenschleim ausgeführt werden müssen.

Die in den Pflanzenzellen vorkommenden plasmatischen Gebilde besitzen recht verschiedenartige Beschaffenheit. Dies tritt zumal deutlich hervor, wenn man das Plasma lebensthätiger Zellen mit den plasmatischen Gebilden ruhender Reservestoffbehälter vergleicht.

Pfeffer hat sich neuerdings eingehend mit den stickstoffhaltigen organisirten Körpern der Samen beschäftigt und die Resultate seiner Beobachtungen in einer werthvollen Abhandlung niedergelegt [3]). Untersucht man die Zellen der Reservestoffbehälter der Samen, so findet man in denselben verschiedene Gebilde (z. B. Amylumkörner, Proteinkörner) vor, die in einer Grundmasse liegen. Diese letztere ist nicht immer von derselben Beschaffenheit.

1) Durch Zusatz von Kalilauge oder Säure zum Schleim kann man den unlöslichen Theil desselben von den löslichen Theilen ebenfalls trennen.

2) Vgl. Kirchner und Tollens, Annal. d. Chem. und Pharm. B. 175, S. 205.

3) Vgl. Pfeffer, Pringsheims Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik. B. 8. S. 429.

Bei fettreichen Samen besteht sie wesentlich aus Fett und enthält nur geringe Quantitäten stickstoffhaltiger Substanzen. Wenn die Samen hingegen arm an Fett sind, so hat man es mit einer sehr proteinstoffreichen Grundmasse zu thun[1]).

Bei fettreichen Samen, wie denen von Bertholletia, Ricinus und Paeonia, kann man sich, wenn man trockene Schnitte der Untersuchungsobjecte unter das Mikroskop bringt, von dem hohen Fettgehalt der Grundmasse direct durch den Augenschein überzeugen. In anderen Fällen gelingt die Auffindung des Fettes nicht mit dieser Leichtigkeit; das Oel lässt sich aber dennoch unter Anwendung verschiedener Hülfsmittel in der Grundmasse unschwer nachweisen. Um das Vorhandensein der Grundmasse in den Zellen recht deutlich sichtbar zu machen, kann man derartig verfahren, dass man Schnitte der Untersuchungsobjecte zunächst vom Fett befreit und dieselben dann mit Wasser oder verdünnter Kalilauge behandelt. Man erblickt jetzt ein Grundmassennetz, in welchem an Stelle der Proteinkörner Hohlräume getreten sind. Es gelingt nun in allen Fällen leicht, das Vorhandensein von Proteinsubstanzen in der rückständigen Grundmasse nachzuweisen. Durch entwickelungsgeschichtliche Untersuchungen hat Pfeffer feststellen können, dass der eigentliche Protoplasmaleib, wie er den Zellen der noch nicht völlig gereiften Samen eigenthümlich war, in die Grundmasse aufgenommen wird[2]). Bei manchen Samen ist es nicht schwer, bei anderen dagegen schwierig, den Zellkern als zusammengeschrumpfte Masse zwischen den Proteinkörnern zu finden.

Was die letzteren anbelangt, so sei zunächst das Folgende zur allgemeinen Orientirung über dieselben bemerkt:

In allen ruhenden Samen, aber ebenfalls in anderen ruhenden und austrocknenden, Reservestoffe führenden Pflanzenorganen (Wurzeln, Rhizomen) trifft man körnige, den Amylumkörnern im Ansehen ähnliche Gebilde an. Dieselben wurden von Hartig[3]) ent-

---

1) Uebrigens sei bemerkt, dass der absolute Gehalt der Grundmasse fettarmer Samen (z. B. von Lupinus) an Proteinstoffen ebenfalls kein bedeutender ist, da die Proteinkörner in den Zellen sehr dicht nebeneinander liegen.

2) Bei Gelegenheit seiner entwickelungsgeschichtlichen Untersuchungen constatirte Pfeffer, dass die Bildung der Proteinkörner im reifenden Samen erst erfolgt, wenn derselbe bereits sehr weit in seiner Ausbildung vorgeschritten ist. Bei fettreichen Samen liess sich sehr schön beobachten, dass Amylum das Material zur Entstehung des Fettes liefert.

3) Vgl. Hartig, Botanische Zeitung, 1855, S. 881 und 1856, S. 257. Sehr eingehend spricht sich Hartig ferner in seiner Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeimes, Leipzig, 1858, S. 108 etc. über die Proteinkörner (Klebermehl oder Aleu-

deckt und von diesem als Aleuron oder Klebermehl bezeichnet. Erst später wurde die jetzt allgemein gebräuchliche Bezeichnung „Proteinkörner“ eingeführt [1]). Die Proteinkörner hat Pfeffer sehr genau untersucht, und er hebt vor allen Dingen hervor, dass dieselben, abgesehen von gewissen Einschlüssen, fast ausschliesslich aus Proteinstoffen bestehen [2]).

Die fremdartigen Einschlüsse, welche keinem grösseren Proteinkorn fehlen, sind von verschiedener Art. Man findet einerseits Krystalle von oxalsaurem Kalk, die als Drusen, gut kenntliche Einzelkrystalle oder als Nadeln vorkommen. Diese Gebilde, welche kurzweg als Krystalle bezeichnet werden mögen, kommen aber nicht in allen Proteinkörnern vor; dagegen fehlt die zweite Art der Einschlüsse in keinem Samen. Diese Einschlüsse bezeichnet Pfeffer als Globoide. Es sind dies kugelige, oder traubenförmige Gebilde, welche keine Spur einer krystallinischen Structur erkennen lassen und als Magnesia- und Kalksalze einer gepaarten Phosphorsäure, deren organischer Paarling noch nicht sicher bestimmt wurde, aufzufassen sind. Die Globoide sind in Essigsäure leicht löslich; die Krystalle von oxalsaurem Kalk dagegen werden von der Säure nicht aufgenommen. Die Zahl der Krystalle und Globoide, die in einem Proteinkorn vorkommen, ist nicht immer dieselbe [3]). Ein Proteinkorn führt mit sehr seltenen Ausnahmen nur eine Art von Einschlüssen, ja gewöhnlich sind in derselben Zelle nur Globoide oder nur Krystalle zu finden, wenn beide Arten von Einschlüssen in einem Samen vorkommen.

---

ron) aus. Hartig hat viele richtige Beobachtungen über die in Rede stehenden Gebilde der Samen gemacht; die Deutung der Untersuchungsergebnisse ist aber eine höchst wunderliche. Hartig denkt sich die Proteinkörner ganz nach dem von ihm aufgestellten Zellenschema aufgebaut. Die in den Proteinkörnern vorkommenden Einschlüsse werden als Aequivalent des Zellkerns betrachtet; die Proteinkörner sollen aus Chlorophyll- oder Stärkekörnern hervorgehen können etc. etc. Auch Gris (vgl. Annl. d. sc. nat., 1864, V ser., B. II p. 1), Sachs (vgl. botan. Zeitung, 1862, S. 242 und botan. Zeitung, 1863, S. 56) sowie andere Forscher, haben sich mit dem Studium der Proteinkörner befasst. Aber erst durch die sogleich eingehender zu besprechenden Arbeiten Pfeffers sind wir genau mit den Proteinkörnern bekannt geworden.

1) Diese Bezeichnung ist im Jahre 1858 von v. Holle zuerst gebraucht worden.

2) Bei stärkereichen Samen kommen in einer Zelle neben Amylum- auch Proteinkörner vor; allerdings in sehr wechselnden Verhältnissen. Vgl. Pfeffers citirte Arbeit, S. 489.

3) Zuweilen findet man nur einen Krystall oder nur ein Globoid in einem Proteinkorn. In anderen Fällen ist eine grössere Anzahl von Einschlüssen vorhanden.

Meistens sind die Einschlüsse der Proteinkörner von anscheinend amorpher Masse umgeben. Zuweilen aber treffen wir neben den genannten Einschlüssen noch aus Eiweissstoffen bestehende Krystalloide in den Proteinkörnern an, und die verschiedenen Gebilde werden von spärlich vorhandener amorpher Hüllmasse umschlossen.

Wenn wir den hier geäusserten allgemeineren Bemerkungen über die Proteinkörner einige specielle Angaben hinzufügen, so ist zunächst hervorzuheben, dass die Grösse der in Rede stehenden Gebilde eine sehr verschiedene ist. Im Mittel besitzen die Proteinkörner eine Grösse von 3—12 Mikromillimeter. Es kommen aber weit grössere und ebenfalls weit kleinere Körner in Samen vor. Im Allgemeinen sind die Proteinkörner stärkereicher Samen von geringerer Grösse als diejenigen fettreicher Samen. Die Oberfläche vieler Proteinkörner erscheint feingrubig, ähnlich wie diejenige eines Fingerhuts. Namentlich lässt sich das Vorhandensein wirklicher Unebenheiten an der Oberfläche der grossen Proteinkörner von Vitis vinifera leicht constatiren.

Die Hüllmasse der Proteinkörner besteht, wie aus den Resultaten der Untersuchungen Pfeffers mit Bestimmtheit hervorgeht, wesentlich aus Proteinstoffen. Fett oder Kohlehydrate sind höchstens in Spuren in derselben vorhanden. Der Stickstoffgehalt der Proteinkörner ist von verschiedenen Forschern bestimmt worden. Zumal hat neuerdings Sachsse[1]) versucht, Proteinkörner von Bertholletia in grösseren Quantitäten zu isoliren, und er hat in denselben 12—12.5% Stickstoff gefunden.

Sehr merkwürdig ist das Verhalten der Proteinkörner dem Wasser gegenüber. Einige, z. B. diejenigen von Paeonia, sind völlig in Wasser löslich, andere dagegen, z. B. diejenigen von Cynoglossum officinale sind gänzlich unlöslich in Wasser[2]), sie quellen darin nur wenig auf. Zwischen den in Wasser löslichen und unlöslichen Proteinkörnern sind alle möglichen Uebergänge zu finden; ja es kommt vor, dass sich die einzelnen Proteinkörner in einer Zelle nicht gleichartig gegen Wasser verhalten. Die Körner in älteren Samen scheinen weniger leicht löslich in Wasser als diejenigen jüngerer Samen zu sein.

Die Löslichkeit der Proteinkörner in Wasser beansprucht um so mehr unser Interesse, als wir wissen, dass dieselben nur sehr geringe Quantitäten von an sich in Wasser löslichen stickstoffhal-

1) Vgl. Sachsse, Chemie und Physiologie der Farbstoffe etc. S. 294.

2) Werden Proteinkörner vom Wasser gelöst, so bleiben, was zu bemerken ist, die Einschlüsse zurück.

tigen Verbindungen (Albumin) enthalten, sondern wesentlich aus Proteinstoffen bestehen, die erst durch die Gegenwart fremder Substanzen löslich in Wasser werden können. Die Reserveproteinstoffe bestehen wesentlich aus Legumin, Glutenfibrin, Mucedin etc., und es ist bekannt, dass diese Körper, an sich kaum löslich in Wasser, von der Flüssigkeit bei Gegenwart von Kali oder phosphorsaurem Kali anfgenommen werden. Wenn sich also gewisse Proteinkörner leichter als andere in Wasser auflösen, so kann die Ursache dieser Erscheinung nur in einem verschiedenen Vorrath an Kali oder phosphorsaurem Kali gesucht werden. Uebrigens hebt Pfeffer bei der Besprechung der hier berührten Verhältnisse noch besonders hervor, dass jene die Löslichkeit der Proteinstoffe vermittelnden Substanzen in den Proteinkörnern selbst vorhanden sein müssen, denn dieselben lösen sich ebenfalls noch, wenn sie aus den Samen isolirt worden sind.

Wenn in Wasser lösliche Proteinkörner längere Zeit mit Alkohol behandelt werden, so erleiden sie eine derartige Veränderung, dass sie nun nicht mehr von der Flüssigkeit aufgenommen werden.

Alle Proteinkörner werden von sehr verdünnter Kalilauge gelöst. Es bleiben nur die Hüllhäutchen zurück[1]. Die Hüllhäutchen der Proteinkörner bestehen zweifellos aus Proteinstoffen, unterscheiden sich aber von der übrigen Substanz der Hüllmasse der Proteinkörner durch ihre grössere Resistenz gegen Lösungsmittel.

Wenden wir den Einschlüssen der Proteinkörner und zwar zunächst den Krystallen von oxalsaurem Kalk, sowie den Globoiden unsere Aufmerksamkeit zu, so ist in erster Linie zu bemerken, dass man, um die Natur der in Rede stehenden Gebilde näher untersuchen zu können, die Schnitte aus Samen zunächst vom Fett befreien und dann mit Wasser oder sehr verdünnter Kalilauge behandeln muss, welche Flüssigkeiten die Einschlüsse nicht angreifen.

Dass die Krystalle wirklich aus oxalsaurem Kalk bestehen, folgert Pfeffer aus dem Verhalten derselben gegen Essigsäure und nicht zu concentrirte Kalilauge. Beide Lösungsmittel greifen die Krystalle nämlich nicht an. Traubensaurer Kalk, der mit dem Oxalat leicht verwechselt werden kann, ist in Kalilauge, die den oxalsauren Kalk nicht aufnimmt, löslich.

---

1) Es sei bemerkt, dass das gesammte Proteinkorn und ebenfalls die Einschlüsse in demselben von Hüllhäutchen umschlossen sind.

Die Globoide sind in Wasser und verdünnter Kalilauge unlöslich. Essigsäure, Weinsäure, sowie alle anorganischen Säuren nehmen die Globoide dagegen leicht auf. Pfeffer hat das Vorhandensein von Kalk, Magnesia und Phosphorsäure in den Globoiden auf mikrochemischem Wege nachweisen können. Die Natur der gepaarten Phosphorsäure ist vor der Hand nicht sicher bekannt, wahrscheinlich dürfte es sein, dass man es mit Zuckerphosphorsäure zu thun hat.

Die Krystalloide kommen nicht nur in Proteinkörnern vor, sondern ebenfalls, was allerdings hier für uns kein weiteres Interesse besitzt, in Zellen, welche diese Gebilde nicht enthalten. Nägeli[1]) hat der Bezeichnung „Krystalloide" zuerst eine ganz bestimmte Bedeutung beigelegt. In ihrer äusseren Form und in ihrem Verhalten zum polarisirten Licht gleichen nämlich die Krystalloide wahren Krystallen zum Verwechseln. Dagegen ist ein wesentlicher Unterschied zwischen den Krystalloiden und den Krystallen darin zu suchen, dass die ersteren imbibitionsfähig sind, während den letzteren diese Eigenthümlichkeit bekanntermassen völlig fehlt.

Die Proteinkörner der meisten Samen enthalten allerdings keine Krystalloide; dennoch aber besitzen diese Gebilde eine ziemliche Verbreitung. Pfeffer fand Krystalloide z. B. in den Samen von Euphorbiaceen, Solaneen, Cacteen, Magnoliaceen, Papaveraceen, Cucurbitaceen, Coniferen etc. Die Krystalloide der Samen sind in Wasser unlöslich. Sie bestehen wesentlich aus Proteinstoffen und zeigen alle Reactionen derselben[2]).

Drittes Capitel.

Das Wesen des Quellungsprocesses der Samen.

Werden lufttrockene Samen mit Wasser in Berührung gebracht, so nehmen sie bestimmte Quantitäten desselben auf. Die folgenden Erörterungen haben nun den Zweck, einerseits die Ursachen dieser Quellungserscheinung festzustellen; andererseits wird es sich aber darum handeln, verschiedene Phänomene kennen zu lernen, welche sich erst in Folge der Quellung selbst an den Samen zeigen.

---

1) Vgl. Nägeli, Sitzungsber. d. k. bayr. Akdm. d. Wissensch. 1862. B. II, S. 120.

2) Man vgl. auch die interessanten Angaben von Schimper (Botan. Zeitung, 1879, S. 45) über die Krystalloide.

Der Quellung der Samen liegen verschiedenartige Ursachen zu Grunde. Vor allen Dingen sind es Imbibitionsprocesse, welche die Wasseraufnahme der Samen herbeiführen; daneben wird dieselbe aber durch osmotische Vorgänge vermittelt, und in speciellen Fällen kommen überdies noch Capillarwirkungen, sowie Vorgänge, die ich als Permixtionsprocesse bezeichnen will, in Betracht.

Der Imbibitionsprocess nimmt hier unser lebhaftestes Interesse in Anspruch, und wir können uns, um zu einer richtigen Vorstellung des Wesens desselben zu gelangen, etwas ausführlicheren Auseinandersetzungen nicht entziehen.

Wir können annehmen, dass sich bei dem Processe der Auflösung eines Körpers in einem anderen Medium die Moleküle des zu lösenden Körpers und diejenigen des Lösungsmittels vollkommen mit einander vermischen. In einer wahren Lösung existirt also eine vollkommen gleichartige Vertheilung der Moleküle der in Betracht kommenden Substanzen [1]). Für Körper dagegen, die unlöslich in irgend einer Flüssigkeit sind, können wir annehmen, dass die Anziehungskraft der Moleküle derselben unter einander grösser ist, als die Anziehungskraft zwischen den Molekülen jener Flüssigkeit und denjenigen des unlöslichen Körpers. Die Aggregate von Molekülen eines unlöslichen Körpers verharren nach meiner Vorstellung in Berührung mit einer Flüssigkeit in demselben Zustande, in welchem sie sich bereits vorher befanden; allerdings aber können sich die Aggregate selbst in der Flüssigkeit vertheilen [2]).

Wenn man z. B. Glaspulver mit Wasser zusammenbringt und die Mischung kräftig schüttelt, so werden die Glas- und Wassertheilchen im ersten Momente nach Vollendung des Schüttelns vollkommen gleichartig mit einander gemischt sein [3]).

---

1) Der von Sachsse (vgl. Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlenhydrate und Proteinsubstanzen, 1877, S. 93) vertretenen Ansicht, dass wir nur dann von einer wahren Lösung reden können, wenn der von einer Flüssigkeit aufgenommene Stoff diffusionsfähig ist, kann ich nicht beistimmen, denn es unterliegt keinem Zweifel, dass die Moleküle mancher Körper grössere Dimensionen besitzen, als die Interstitien der Membranen. Filtrirt man Kleister, so erhält man eine vollkommen klare Flüssigkeit, in der man mit Hülfe des Mikroskops keine suspendirten Theilchen mehr erkennen kann. Wir haben es hier sicher mit einer Lösung zu thun, trotzdem das Amylum derselben nicht im Stande ist, Membranen zu passiren.

2) Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass manche Substanzen in einer bestimmten Flüssigkeit löslich, in einer anderen unlöslich sind.

3) Lässt man die Mischung ruhig stehen, so müssen sich die ungelösten Glastheilchen natürlich alsbald zu Boden setzen.

In dem hier zuletzt erwähnten Falle, ebenso aber auch bei dem Zustandekommen des Auflösungsprocesses haben wir es also mit einer Vertheilung der Theilchen eines festen Körpers in einer Flüssigkeit zu thun, und ein analoges Verhältniss macht sich auch geltend, wenn Imbibitionsvorgänge stattfinden. Allerdings aber besteht doch ein wesentlicher Unterschied zwischen der Imbibition einerseits und den Processen der Auflösung, sowie der einfachen Vertheilung fester Stoffe in Flüssigkeiten andererseits.

Um das Wesen des Imbibitionsprocesses richtig zu würdigen, ist es vor allen Dingen erforderlich, die Anschauungen nicht aus dem Auge zu verlieren, welche man sich neuerdings, zumal auf Grund der epochemachenden Untersuchungen Nägeli's, über die Molekularstructur organisirter Zellbestandtheile gebildet hat. Alle imbibitionsfähigen Gebilde bestehen aus Tagmen[1]). Es muss aber bemerkt werden, dass Syntagmen existiren können, welche nicht die Fähigkeit besitzen, Flüssigkeiten in sich aufzunehmen, und dass ferner aus Tagmen bestehende Gebilde in Berührung mit Flüssigkeiten sofort vollkommen desorganisirt werden können. In diesem letzteren Falle würde sich kein Imbibitions-, sondern vielleicht ein Auflösungsprocess, d. h. eine Vertheilung der Moleküle des zu lösenden Stoffes in der Flüssigkeit geltend machen.

Als imbibitionsfähige Körper sind solche aus Tagmen bestehende Gebilde (Syntagmen) anzusehen, welche in Berührung mit einer Flüssigkeit begrenzte Quellung[2]) zeigen.

Wir stellen uns vor, dass die Tagmen imbibitionsfähiger Gebilde, welche sich noch im trockenen Zustande befinden, einander unmittelbar berühren. Gelangen die imbibitionsfähigen Körper aber mit einer Flüssigkeit in Contact, so dringen die Moleküle derselben zwischen die Tagmen ein und entfernen diese mehr oder weniger von einander[3]). Der Process der Imbibition ist also mit einer Arbeitsleistung verbunden, denn die Flüssigkeitsmoleküle müssen

---

1) Fick (vgl. dessen medicinische Physik, 2. Aufl., 1866, S. 30) redet auch von der Imbibition poröser Körper (capillare Imbibition). Es erscheint mir durchaus geboten, um Verwirrungen zu vermeiden, Fick in dieser Hinsicht nicht zu folgen. Zwar ist es sicher, dass sich beim Zustandekommen der Imbibitionsprocesse häufig nebenher Capillarwirkungen geltend machen, denn manche imbibitionsfähigen Gebilde, z. B. Schweinsblase oder Pergamentpapier, sind oft nicht frei von wirklichen Poren; indessen dadurch kann unsere Ansicht nicht erschüttert werden.

2) Als Quellung ist hier der gesammte Erfolg, der sich bei der Imbibition herausstellt, zu bezeichnen.

3) Uebrigens kann die Imbibitionsflüssigkeit auch unter Umständen in die Tagmen selbst eindringen. Man vgl. Pfeffer, Osmotische Untersuchungen. 1877. S. 35.

die Anziehungskräfte, welche zwischen den einzelnen Tagmen bestehen, überwinden, um in den quellungsfähigen Körper einzudringen[1]). Wenn der Process der Imbibition zum Abschluss gelangt ist, wenn die in Folge der Quellung sich geltend machende Volumenzunahme der imbibirten Substanz ihr Maximum erreicht hat, so bestehen aber immer noch Attractionswirkungen zwischen den einzelnen Tagmen, und es ist für die Beurtheilung des Wesens der begrenzten Quellung von grosser Wichtigkeit, dies nicht aus dem Auge zu verlieren. Die Tagmen derjenigen Gebilde, welche begrenzter Quellung unterliegen, werden in Folge der Flüssigkeitsaufnahme von einander entfernt, ihr absolutes Lagerungsverhältniss im Raum erleidet also eine Veränderung, aber ihre relative Lage zu einander bleibt dieselbe, und wenn man die Quellung durch Flüssigkeitsentziehung wieder rückgängig macht, so besitzt das Syntagma aufs Neue dieselbe Beschaffenheit, wie vor Beginn der Imbibition[2]).

Im Gegensatz zu der begrenzten steht die unbegrenzte Quellung. Erhitzt man Amylum mit Wasser, so wird die Granulose thatsächlich aufgelöst. Ob die Tagmen der Stärkecellulose unverändert erhalten bleiben, ist fraglich; so viel ist aber gewiss, dass sich die Stärkecellulose nicht auflöst. Die Theilchen derselben entfernen sich in Folge der sehr lebhaften Wasseraufnahme der Amylumkörner mehr und mehr von einander, und schliesslich machen sich zwischen den Stärkecellulosepartikelchen gar keine hier noch in Betracht kommenden Anziehungskräfte mehr geltend. Die ungelösten Theilchen haben sich vollkommen gleichmässig in der Flüssigkeit vertheilt; sie nehmen jetzt nicht nur eine ganz andere absolute Lage im Raum wie vor der Quellung ein, sondern haben ebenso ihr relatives Lagerungsverhältniss unter einander völlig verändert. Dies letztere Moment ist zumal charakteristisch für die unbegrenzte Quellung; bei begrenzter Quellung erfolgt da-

---

1) Uebrigens wird andererseits in Folge der sich bei der Imbibition geltend machenden Flüssigkeitsverdichtung Wärme frei.

2) Im weitesten Sinne des Wortes könnte man sämmtliche Syntagmen, mögen dieselben nicht imbibitionsfähig sein oder beliebigen Flüssigkeiten gegenüber begrenzte oder unbegrenzte Quellung zeigen, als organisirte Gebilde bezeichnen. Vom physiologischen Standpunkte aus erscheint es aber geboten, lediglich diejenigen Syntagmen als organisirte Gebilde aufzufassen, welche in Berührung mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur begrenzter Quellung fähig sind. Die Definition Pfeffers (vgl. dessen osmotische Untersuchungen, 1877, S. 15) stimmt nicht ganz genau mit der meinigen überein.

gegen niemals eine Veränderung der relativen Lage der Tagmen zu einander [1]).

Dass der Process der Imbibition nun thatsächlich bei der Quellung der Samen zur Geltung kommt, wird sofort klar, wenn man sich daran erinnert, dass die Samen reich an solchen Gebilden (Zellhäute, Amylumkörner, Proteinkörner) sind, welche in Berührung mit Wasser Imbibitionserscheinungen hervortreten lassen. Uebrigens ist zu bemerken, dass sich die quellenden Samen nur unter bestimmten Voraussetzungen zum Studium der Imbibitionserscheinungen an sich eignen, denn es ist einerseits hervorzuheben, dass abgesehen von der Imbibition noch anderweitige Quellungsursachen existiren, und ferner darf nicht übersehen werden, dass ja jeder Same ein sehr complicirt gebautes Gebilde repräsentirt, ein Umstand, welcher das Hervortreten der Imbibitionserscheinungen in reiner Form in hohem Grade beeinträchtigt.

In der Regel wird der Quellungsprocess der Samen durch Imbibitionsvorgänge eingeleitet. Die Zellmembranen der Epidermis der Testa saugen das Wasser zunächst auf, und die Flüssigkeit verbreitet sich dann weiter und weiter in das Innere der Samen. Alsbald müssen sich dann auch osmotische Processe geltend machen, denn die Bedingungen für das Zustandekommen derselben sind gegeben. Die Zellen der Samen sind in vielen Fällen reich an solchen Stoffen, welche das Wasser begierig anziehen. Die Zellen turgesciren in Folge dessen, und dieser Umstand trägt wesentlich dazu bei, zur Entstehung von Spannungs- und Druckverhältnissen in den quellenden Samen Veranlassung zu geben. Uebrigens sei hier noch bemerkt, dass die Samen bei der Quellung nicht allein Flüssigkeit von aussen aufnehmen; sie geben vielmehr ebenso gewisse Stoffe an das Quellungsmedium ab, und diese Thatsache erklärt sich leicht, wenn man bedenkt, dass sich bei der Quellung der Samen osmotische Processe geltend machen und dass überdies in Folge dessen häufig Druckkräfte entstehen, welche bestimmte Stoffe aus den Zellen der Samen durch Filtration nach aussen befördern. Ich fand, dass 30 weisse Riesenerbsen, die im lufttrockenen Zustande 11.600 Grm. wogen, im Verlaufe von 48 Stunden 0.052 Grm. absolut trockener Substanz an das destillirte Wasser, mit dem sie sich in Berührung befanden, abgegeben hatten [2]).

1) Unbegrenzte Quellung macht sich auch geltend, wenn man Zellhäute oder Stärkekörner mit concentrirteren Säuren und Alkalien behandelt. Man vergl. Hofmeister: Die Lehre von der Pflanzenzelle, 1867, S. 230 und Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 1874. S. 640.

2) Die Temperatur des Quellwassers betrug 17° C.

In speciellen Fällen wird die Quellung der Samen nicht, wie es allerdings in der Regel geschieht, ausschliesslich durch Imbibitionsprocesse und osmotische Vorgänge vermittelt, sondern es machen sich noch anderweitige Processe bei der Wasseraufnahme geltend. Ich komme an geeigneter Stelle auf dies Verhältniss zurück und bemerke hier nur so viel, dass bei der Quellung einiger Samen Capillarkräfte mitwirken, und dass bei der Wasseraufnahme anderer die Permixtionsprocesse eine bedeutende Rolle spielen. Diese letzteren Vorgänge welche bei der Quellung der schleimbildenden Samen zur Geltung kommen, unterscheiden sich ganz wesentlich von dem Processe der Imbibition. Imbibitionsfähig sind nur solche Gebilde, welche begrenzte Quellung zulassen; der Permixtionsvorgang setzt aber das Zustandekommen unbegrenzter Quellung voraus [1]) [2]).

Im genauesten Zusammenhange mit der Frage nach den die Quellung der Samen bedingenden Grundursachen und nach dem Wesen derselben steht die andere nach den Wassermengen, welche die Samen überhaupt aufzunehmen im Stande sind. Der ganz exacten Beantwortung dieser Frage stellen sich nicht unerhebliche Schwierigkeiten entgegen; dagegen ist es sehr leicht, festzustellen, wie viel Wasser ein Same ungefähr bei der Quellung absorbirt. Dazu ist es nur nothwendig, das Gewicht des lufttrockenen und später dasjenige des gequollenen Samen zu ermitteln.

Derartige Bestimmungen wurden von R. Hoffmann [3]), sowie von Nobbe [4]) vorgenommen und einige Resultate dieser Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Die lufttrockenen Samen oder Früchte nahmen Wasser auf nach:

---

1) Uebrigens ist zu bemerken, dass die Wasseraufnahme seitens der Samen auch dann, wenn sich Capillarwirkungen oder Permixtionsprocesse an ihrem Zustandekommen betheiligen, immer noch wesentlich durch Imbibitionsprocesse und osmotische Vorgänge vermittelt wird.

2) Ueberblickt man das über das Wesen des Quellungsprocesses Gesagte, so geht daraus hervor, dass derselbe als ein rein physikalischer Vorgang aufzufassen ist. Allerdings ist aber zu bemerken, dass sich in den Samen bereits während der Quellung chemische Processe geltend machen, die aber, wenngleich ihr Zustandekommen erst durch die Wasseraufnahme ermöglicht wird, nicht in Beziehung zu dem Wesen der Quellung selbst stehen.

3) Vgl. R. Hoffmann, Jahresbericht f. Agriculturchemie. 1864. S. 108.

4) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 119.

	Hoffmann	Nobbe
Weizen	45.5 %	60.0 %
Gerste	48.2 „	—
Roggen	57.7 „	—
Hafer	59.8 „	—
Buchweizen	46.9 „	—
Mais	40.0 „	34.8 „
Hirse	25.0 „	—
Linse	93.4 „	—
Erbse	106.8 „ [1])	a 96.0 „ b 71.0 „
Weisse Bohne	92.1 „	—
Kreuzbohne	—	117.5 „
Schminkbohne	—	100.7 „
Saubohne	104.0 „	157.0 „
Wicke	75.4 „	—
Luzerne	56.0 „	87.8 „
Weissklee	126.7 „	89.0 „
Rothklee	117.5 „	105.3 „
Mohn	91.0 „	—
Raps	51.0 „	48.3 „
Oelrettig	8.0 „	59.5 „
Leindotter	60.0 „	—
Hanf	43.9 „	—
Sonnenblume	56.5 „	—
Weisse Rübe	62.5 „	51.8 „
Zuckerrübe	120.5 „	—
Pinus austriaca	—	35.8 „

Die vorstehenden Angaben können nicht auf absolute Genauigkeit Anspruch machen, und zwar z. B. schon deshalb nicht, weil die Experimentatoren diejenigen Stoffquantitäten (Kohlensäure, Mineralstoffe, organische Substanzen), welche aus den Untersuchungsobjecten während des Quellactes austreten, nicht berücksichtigten. Nichts desto weniger lassen die mitgetheilten Zahlen doch dies deutlich erkennen, dass die Wassermengen, welche von den einzelnen Samenarten bei der Quellung überhaupt absorbirt werden können, sehr verschiedene sind.

---

1) Ich habe ebenso gefunden, dass Erbsen mehr als 100 % Wasser bei der Quellung aufzunehmen vermögen.

Ein derartiges Resultat liess sich wohl von vornherein erwarten, denn die einzelnen Samenspecies besitzen ja eine sehr verschiedenartige Beschaffenheit. Namentlich ist beachtenswerth, dass die Samen der Papilionaceen besonders grosse Wasserquantitäten zu absorbiren vermögen, während dagegen die fettreichen Samen, sowie die Früchte der Gramineen weit geringere Flüssigkeitsmengen binden. Dass bei der Quellung der Erbsen, Bohnen, des Rothklees etc. relativ so bedeutende Wassermengen consumirt werden, hat wohl wesentlich seinen Grund in dem Vorhandensein einer den inneren Regionen der Testa angehörenden Quellschicht bei diesen Samen.

Einiges Interesse beansprucht die Frage, ob die Samen im Stande sind, Wassergas zu verdichten. R. Hoffmann[1]) hat einige bezügliche Untersuchungen angestellt, indem er Samenproben, die auf Uhrgläser ausgebreitet worden waren, bei einer Temperatur von 18—21 ° C. in eine mit Wassergas gesättigte Atmosphäre brachte. Einige Resultate der Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Bezeichnung der Untersuchungsobjecte.	Wassergehalt der lufttrockenen Samen in %.	Aufgenommene Wassermenge in % den Samen.
Weizen	14.012	5.714
Gerste	13.821	8.231
Buchweizen	13.745	9.000
Erbse	10.238	7.692
Wicke	14.213	11.500
Rothklee	9.901	6.500
Raps	9.921	4.666
Hanf	12.341	1.724
Zuckerrübe	5.390 [2])	7.960

Nobbe[3]) behandelte drei Leinsamproben wie folgt:

A. 18.857 Grm. Samen wurden auf Glanzpapier ausgebreitet

1) Vgl. R. Hoffmannn, Jahresbericht f. Agriculturchemie. 1864. S. 108.

2) Verschiedene Individuen ein und derselben Samenprobe können übrigens, wie in diesem Zusammenhange bemerkt werden mag, einen verschiedenen Wassergehalt zeigen. Kleinere Samen (weisser Riesenerbsen) sind nach meinen Feststellungen im lufttrockenen Zustande wasserärmer als grössere. Zu demselben Ergebnisse gelangte Marek (vgl. dessen Schrift: Das Saatgut und dessen Einfluss auf Menge und Güte der Ernte. Wien 1875. S. 25). Tschaplowitz (vergl. Versuchsstationen. B. 19, S. 412) fand, dass kleinere Erbsenindividuen mehr Wasser als grössere enthalten. Wahrscheinlich verhalten sich verschiedene Erbsenarten in der hier in Rede stehenden Beziehung nicht gleichartig.

3) Vgl. Nobbe, Handbuch der Samenkunde. S. 105.

und zum Schutz gegen Staub mit einer nicht luftdichtschliessenden Glasglocke bedeckt.

B. 19.306 Grm. wurden in ein offenes Opodeldocglas gebracht.

C. 21.00 Grm. Samen wurden in einer Porcellanschale unter eine mit Wasser abgeschlossene Glasglocke gebracht.

Unter den bezeichneten Umständen erfuhren die Samen die folgenden Gewichtsveränderungen:

Nach Stunden	A.	B.	C.
7	— 32 Mgrm.	— 3 Mgrm.	+ 242 Mgrm.
12	— 8 „	— 5 „	+ 382 „
12	— 13 „	— 13 „	+ 251 „
12	— 22 „	— 6 „	+ 244 „
12	— 22 „	— 2 „	+ 176 „
12	— 26 „	— 5 „	+ 169 „
12	— 16 „	— 1 „	+ 222 „
12	— 17 „	— 2 „	+ 70 „
12	— 12 „	— 4 „	+ 17 „
12	— 12 „	— 5 „	+ 60 „
12	— 9 „	— 4 „	+ 306 „
12	— 10 „	— 6 „	+ 272 „
12	— 15 „	— 3 „	+ 218 „
12	— 20 „	— 7 „	+ 236 „
12	— 7 „	— 7 „	+ 160 „
12	— 8 „	— 7 „	+ 206 „
12	— 8 „	— 10 „	+ 146 „
12	— 4 „	— 4 „	+ 84 „
211 Std.	— 271 Mgrm.	— 94 Mgrm.	+ 3461 Mgrm.

Die Zahlen in der Columne C zeigen, dass die in einer wassergasreichen Atmosphäre verweilenden Samen Wasser aufnehmen können[1]). Dasselbe lehren die Angaben Hoffmann's, aber durch keinen der beiden Versuche wird die Frage, ob Samen im Stande sind, Wassergas zu verdichten, entschieden. Die Art und Weise, in der die Beobachtungen ausgeführt wurden, leistet nämlich keine Garantie dafür, dass eine Thaubildung infolge von Temperaturschwankungen in den wassergasreichen Räumen ausgeschlossen war. Die aufgeworfene Frage kann nur dann ihrer Lösung entgegengeführt werden, wenn man die Samen in eine Atmosphäre

1) Es ist bei der Beurtheilung dieser und ähnlicher Versuche nicht zu übersehen, dass die Samen, wenn sie Wasser aufnehmen, bestimmte Stoffmengen abgeben. Ebenso darf nicht übersehen werden, dass, wie weiter unten gezeigt werden soll, die Individualität der Samen von Einfluss auf ihr Verhalten dem Wasser gegenüber ist.

bringt, die allerdings Wassergas enthält, aber nicht völlig damit gesättigt ist. Ich habe eine genau abgewogene Menge lufttrockener Erbsen [1]) in einen wassergasreichen Raum gebracht, um das Gewicht der Untersuchungsobjecte nach bestimmter Zeit abermals festzustellen. Während der Versuche wurden Psychrometerbeobachtungen angestellt, und ich konnte mich auf diese Weise davon überzeugen, dass die Atmosphäre, in der die Samen verweilten, niemals völlig mit Wassergas gesättigt war. Die Bestimmungen lieferten die folgenden Ergebnisse:

	Gewicht d. Samen in Grm.	Temperatur in ° C. Feucht erhaltenes Thermometer.	Trocken des Psychrometers [2]).
14. Februar	4.285	12.7	13.8
15. „	4.324	12.3	13.5
16. „	4.339	12.7	13.7

Die Gewichtszunahme der Samen kann im vorliegenden Falle nur als Folge einer eingetretenen Wassergasverdichtung seitens des Untersuchungsmaterials angesehen werden. Ebenso habe ich mich davon überzeugt, dass auch lufttrockene ölreiche Samen (Samen von Cucurbita Pepo) im Stande sind, Wassergas zu condensiren [3]) [4]).

Wenn es bewiesen ist, dass lufttrockene Samen im Stande sind, überhaupt Wasserdampf zu absorbiren, so handelt es sich um die Beantwortung der weiteren Frage, ob denn dieses Wassercondensationsvermögen der Samen so gross ist, dass durch dasselbe die Entwickelung der Keimtheile herbeigeführt werden kann. Mir sind keine vorwurfsfreien Versuche bekannt, bei deren Ausführung es sich der Experimentator zur Aufgabe gemacht hätte, diese Frage zu entscheiden, aber ich glaube, dass die Wassermenge, welche die Samen aufnehmen, indem sie Wassergas verdichten, niemals hinreicht, um die Entfaltung des Embryo zu ermöglichen. Dagegen ist es gewiss, dass Samen, die sich in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre, welche erheblicheren Temperaturschwankungen ausgesetzt ist, befinden, zum Keimen gebracht werden können. Unter solchen Verhältnissen erfolgt eine häufige Thaubildung; es wird

1) Vgl. Detmer, Separatabdruck aus Wollny's Forschungen auf d. Gebiete d. Agriculturphysik. Bd. 2, H. 1, S. 11.

2) Das Psychrometer wurde während der Versuche häufig beobachtet.

3) Vgl. Detmer, Separatabdruck aus Wollny's Forschungen. B. 1, H. 2, S. 16.

4) Ueber die Vorsichtsmassregeln, welche bei der Ausführung der Untersuchungen berücksichtigt wurden, habe ich mich in den citirten Abhandlungen ausgesprochen.

den Samen also tropfbar-flüssiges Wasser zugeführt, und es kann nun der Quellungsprocess so weit fortschreiten, dass die junge Pflanze sich entfaltet.

Um das Verhalten einer grösseren Zahl von Samenarten in feuchter Luft bei bedeutenden Temperaturschwankungen und bei möglichst constanter Temperatur genauer kennen zu lernen, hat F. Haberlandt[1]) vom 24. December 1874 bis zum 24. März 1875 verschiedene Beobachtungen angestellt. Unter grosse Glasglocken wurden aus Messingdraht und Messingdrahtnetz gefertigte und sechs Etagen besitzende Gestelle gebracht. Die Glasglocken standen in 30 Cm. weiten Gefässen mit flachem Boden, der, 6 Cm. hoch mit Wasser bedeckt, das Innere der Glocken abschloss und zugleich mit Wasserdampf sättigte. Die eine Glocke befand sich in einem Raum, in welchem die täglichen Temperaturschwankungen kaum 1 ° C. betrugen; die andere Glocke wurde in einen auf 20 ° C. erwärmten Raum gebracht, in welchem die Temperatur allmählich auf 14—16 ° C. herabsank.

Unter der zweiten Glocke, in der in Folge der häufig eintretenden Thaubildung den verschiedenen zum Versuch benutzten Samen grössere Quantitäten von tropfbar-flüssigem Wasser zugeführt wurden, keimten die meisten Untersuchungsobjecte. Die Keimung konnte bereits am 6. Februar beobachtet werden, sie dauerte fort bis Ende Januar und Mitte Februar, zu welcher Zeit die zahlreichen Schimmelpilze alle Keimlinge getödtet und alle Samen in ein dichtes Myceliumfilz eingehüllt hatten. Von den vielen benutzten Samen keimten unter den angegebenen Umständen z. B. diejenigen des Weizens, des Roggens, der Gerste, des Hafers, des Mais, des Buchweizens, des Leindotter, des Tabaks, der Erbse, der Linse etc. Während der Keimung fand in der That innerhalb der Glocke eine beträchtliche Thaubildung statt; an den Drahtnetzen und den Spitzen der hervorgetretenen Würzelchen hingen viele kleine Wassertröpfchen. Einige Samen, die benutzt wurden, z. B. diejenigen des Krapp-, des Rothklees, der weissen Lupine etc. keimten gar nicht, und dürfte diese Erscheinung in dem Umstande, dass die Schimmelvegetation auf den Untersuchungsobjecten die Keimkraft derselben vernichtete, ihre Erklärung finden. Die Samen unter der Glocke, welche sich in einem Raum befand, in welchem nur sehr unbedeutende Temperaturschwankungen statt

1) Vgl. Haberlandt, Wissenschl. prakt. Untersuchungen etc. B. I, S. 70.

hatten, waren ebenfalls bald mit vielen Schimmelpilzen bedeckt. Es keimte kein einziges Korn der Samen während der ganzen Versuchszeit.

Viertes Capitel.

Der Einfluss der Individualität und der Testa der Samen auf den Quellungsprocess.

Wird eine grössere Quantität möglichst gleichartig ausgebildeter Samen mit Wasser übergossen, so erfolgt die Quellung der einzelnen Individuen meist nicht gleichzeitig; vielmehr lässt sich in der Regel leicht constatiren, dass einige Samen noch durchaus ungequollen sind, während andere bereits Flüssigkeit aufgenommen haben. Unter Umständen verhalten sich die einzelnen Samen bei der Ausführung des erwähnten Experiments sehr ähnlich, d. h. es sind sämmtliche Exemplare innerhalb einer kurzen Zeit in den gequollenen Zustand übergegangen. Oft aber können Samen Tage, ja Wochen und Monate lang in Wasser ruhen, ohne dasselbe aufzunehmen. Sehr leicht lässt sich die hier zuletzt hervorgehobene Thatsache constatiren, wenn man Lupinensamen in Wasser legt. Ich habe z. B. 100 Samen von Lupinus luteus mit Wasser übergossen [1]) und es fanden sich gequollen

nach 6 Stunden	35 Stück	nach ferneren 24 Stunden	—
„ ferneren 18 Stunden	37 „	„ „ 24 „	1 Stück
„ „ 6 „	6 „	„ „ 24 „	—
„ „ 18 „	13 „	„ „ 24 „	—
„ „ 24 „	1 „	„ „ 24 „	—
„ „ 24 „	2 „	„ „ 24 „	1 „
„ „ 24 „	2 „	„ „ 24 „	—
„ „ 24 „	— „	„ „ 24 „	—

2 Samenindividuen hatten also selbst nach Verlauf von 14 Tagen noch kein Wasser aufgenommen.

Man könnte geneigt sein, die Ursache der auffallenden Erscheinung, dass manche Samenindividuen so schwer quellen, in einem hohen Wachs- oder Fettgehalt der Cuticula derselben zu

---

1) Ganz ähnlich wie der Same von Lupinus luteus verhalten sich nach meinen Beobachtungen die relativ kleinen Samen von Lupinus Barkeri dem Wasser gegenüber. Auch manche Samenindividuen von Abies excelsa scheinen sehr schwer quellbar zu sein.

suchen. Um so mehr scheint diese Ansicht auf den ersten Blick eine Berechtigung zu besitzen, als ja bekanntlich die Cuticula vieler Laubblätter sehr wachsreich ist, und die Benetzbarkeit der genannten Organe in Folge dessen ungemein erschwert wird. In der That hat Sempolowski[1]) beobachtet, dass die Cuticula der Lupinensamen auf der Aussenfläche mit einem körnigen Wachsüberzuge versehen ist, aber dennoch lässt sich zeigen, dass derselbe keinen nachweisbaren Einfluss auf den Quellungsprocess ausübt.

Sowohl Nobbe[2]) als auch Höhnel[3]) sind bei bezüglichen Untersuchungen zu einem derartigen Ergebnisse geführt worden, und durch meine Beobachtungen wird die Richtigkeit der Angaben der genannten Forscher nur bestätigt. Ich habe eine Probe der Samen von Lupinus luteus, die 6.407 Grm. wog, 4 Stunden lang mit Aether gekocht. Das Gewicht der abgetrockneten Samen betrug nach dem Kochen 6.381 Grm. Die Samen gelangten sogleich nach dem Auskochen, gemeinschaftlich mit einer nicht mit Aether behandelten Lupinenprobe, in Berührung mit destillirtem Wasser. Es waren gequollen nach

	5 Stunden.	18 Stunden.
von den nicht mit Aether behandelten Samen	10 %	26 %
„ „ mit Aether behandelten Samen	8 „	22 „

Ein zweiter Versuch führte ebenfalls zu dem Resultate, dass das Quellungsvermögen der Lupinensamen durch die Behandlung mit Aether keine wesentliche Veränderung erleidet.

Die Erscheinung der Schwerquellbarkeit mancher Individuen der Lupinensamen muss — dies liegt auf der Hand — in Beziehung stehen zu der Beschaffenheit der äusseren Regionen der Testa. Wenn die vorhandenen Wachsmassen das Phänomen nicht bedingen, so kann dasselbe seine Ursache nur in der Natur des Gewebes der Samenschale selbst haben, und in der That besitzen die Zellen der Pallisadenschicht der Lupinensamen alle Eigenschaften, welche unter Umständen die Wasseraufnahme ungemein erschweren müssen. Die Substanz der Zellen jener Schicht hat bei den schwer quellenden Samenindividuen eine eigenthümliche Modification erfahren, so dass sie im Stande ist, dem eindringen-

---

1) Vgl. Sempolowski, Beiträge zur Kenntniss des Baues d. Samenschalen. Leipzig 1874. S. 9.

2) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 116.

3) Vgl. Höhnel in Haberlandts wissenschl.-praktischen Untersuchungen auf d. Gebiete d. Pflanzenbaues. B. 1, S. 85.

den Wasser einen sehr bedeutenden Widerstand entgegenzustellen [1]. Dass wirklich in der Testa die Ursache der Schwerquellbarkeit vieler Lupinensamen zu suchen ist, kann zumal dann keinem Zweifel mehr unterliegen, wenn man erfährt, dass alle Samen nach dem Verletzen der Samenschale ungemein leicht Wasser aufsaugen [2].

Im letzten Abschnitte dieses Buches werden wir auf die grosse Bedeutung, welche die Thatsache der Schwerquellbarkeit vieler Samenindividuen in biologischer Hinsicht beansprucht, näher eingehen. An dieser Stelle ist namentlich zu betonen, dass das in Rede stehende Phänomen keineswegs auf die Lupinensamen allein beschränkt ist, sondern dass dasselbe, wie aus den von Nobbe angestellten Beobachtungen hervorgeht, sehr allgemeine Verbreitung im Pflanzenreiche besitzt. Zunächst will ich hier auf die Ergebnisse einer von dem genannten Forscher unter Benutzung der Samen von Trifolium pratense ausgeführten Versuchsreihe hinweisen [3]. Von je 1000 Körnern, welche in destillirtem, von Zeit zu Zeit erneuertem Wasser bei einer Temperatur von 19—21° C. lagen, fanden sich gequollen:

Nach Tagen.	A.	B.	Nach Tagen.	A.	B.	Nach Tagen.	A.	B.
1	919	927	21	—	3	55	—	1
3	5	8	24	5	2	56	1	1
5	9	9	26	1	1	59	3	—
9	7	4	31	1	2	91	—	3
10	4	1	32	2	3	147	1	4
13	3	4	36	1	2	156	4	3
15	2	3	43	—	2	Sa.	970	990
16	1	2	48	—	1			
19	—	3	52	1	1			

Weitere interessante Beiträge zur Kenntniss des Phänomens der Schwerquellbarkeit vieler Samen hat Nobbe neuerdings geliefert [4]. Er experimentirte mit den Samen von Trifolium repens, Robinia pseudoacacia, Cuscuta europaea, Agrostemma Githago, Bellis perennis, Rumex crispus, Veronica hederaefolia und vieler anderen Gewächse.

1) Bei den leicht quellenden Samenindividuen muss die Beschaffenheit der Zellen der Pallisadenschicht eine andere als bei den schwer quellenden sein, oder sonstige Momente (etwa in der Testa vorhandene Risse) können eine beschleunigte Wasseraufnahme ermöglichen.

2) Von der Thatsächlichkeit dieses Verhältnisses habe ich mich durch die Ausführung verschiedener Experimente überzeugt.

3) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 112.

4) Vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 20, S. 71.

Von 400 Robiniensamen waren z. B. gequollen nach Tagen:

10	29	152	260	341	462	605	769	853	1012	
71	27	20	8	10	5	3	1	3	2	Stück.

Zu ganz ähnlichen Ergebnissen führten die unter Benutzung anderweitiger Samen ausgeführten Untersuchungen, und man sieht also, dass Samen aus den verschiedenartigsten Pflanzenfamilien Monate, ja selbst Jahre lang in Berührung mit Feuchtigkeit verharren können, ohne Wasser aufzunehmen.

In manchen Fällen (Cirsium arvense, Ornithogalum umbellatum, Papaver rhoeas, Primula elatior) konnte *Nobbe* die eigenthümliche Thatsache constatiren, der wir übrigens heute noch wie einem Räthsel gegenüberstehen, dass die Samen allerdings nach Verlauf einiger Zeit aufquellen, aber — trotzdem die Bedingungen günstige waren — nicht keimten, und was insbesondere Beachtung verdient, viele Monate, *ohne zu faulen*, in dem wasserdurchtränkten Zustande verharrten.

Oft dagegen zeigte sich, (Chenopodium album, Polygonum persicaria, Rumex crispus, Veronica hederaefolia, theilweise Cuscuta, namentlich aber Samen von Papilionaceen) dass die Untersuchungsobjecte weder aufquollen, noch keimten, sondern dass die Testa dem Eindringen des Wassers selbst Jahre lang einen energischen Widerstand entgegensetzte [1]).

Es liegt gar kein Grund zu der Annahme vor, dass gewisse Individuen der schwer aufquellenden Samen überhaupt als quellungsunfähig anzusehen sind. Vielmehr wird das Gewebe solcher Samen, die selbst Jahre lang im Wasser verweilen, ohne zu erweichen, doch schliesslich Modificationen erleiden, welche die Quellung ermöglichen. Es ist aber durchaus nicht nothwendig, um eine normale Quellung herbeizuführen, dass das Gewebe der Pallisadenschicht der Papilionaceensamen z. B. in seinem gesammten Umfange derartige Veränderungen unter dem Einflusse des Wassers erfährt; vielmehr genügt es, wenn die Testa nur an einer Stelle permeabel für Wasser wird. Dieselben Samen nämlich, welche in Folge besonderer Eigenthümlichkeiten ihrer Samenschale dem Wasser einen so bedeutenden Widerstand entgegenstellen, sind mit Vorrichtungen ausgestattet, die, wenn jener Widerstand nur zum Theil

---

1) In der citirten Abhandlung geht *Nobbe* auch genauer auf die Ursachen der Schwerquellbarkeit mancher Samen ein. Er hat die Samenschale von Trifolium pratense einer genauen anatomischen Untersuchung unterzogen, und gezeigt, dass ebenfalls hier die periphere Schicht dem Eindringen des Wassers das grösste Hinderniss entgegenstellt.

überwunden ist, den Verlauf der Quellung in bedeutsamer Weise beschleunigen.

In der hier in Rede stehenden Beziehung sind die bereits andeutungsweise berührten Untersuchungen von Nobbe über den anatomischen Bau der Testa der Samen des Rothklees von Interesse. Die Samenschale besteht aus fünf Schichten, von denen die beiden innersten, wie die Entwickelungsgeschichte zeigt, im Embryosack entstehen, also als Endospermreste zu betrachten sind. Die innerste Region der Testa, die Quellschicht, lässt im trockenen Zustande gar keine zellige Structur erkennen; erst in Berührung mit Wasser tritt dieselbe deutlich hervor. Diese Quellschicht ist im Stande, sehr bedeutende Wasserquantitäten zu absorbiren; auch die geringste Feuchtigkeitsmenge, mit der sie in Berührung gelangt, wird energisch von den Zellen aufgesogen und festgehalten. In Folge ihres starken Quellungsvermögens muss die Quellschicht aber nach eingetretener Wasseraufnahme in den Zustand activer Spannung gerathen; sie muss namentlich einen Druck auf die peripherischen Gewebe der Testa geltend machen, und in Folge davon müssen diese eine Auflockerung erleiden, welche ihrerseits nun eine gesteigerte Wasseraufnahme der Samen von aussen herbeiführen wird [1]).

Um recht deutlich zu zeigen, wie beträchtlich das Quellungsvermögen der Quellschicht der Testa des Samen von Trifolium pratense ist, hat Nobbe den Radialdurchmesser der Quellschicht (gemessen an denjenigen Stellen, wo die Zelllagen am zahlreichsten sind) vor und nach der Wasseraufnahme bestimmt. Dies führte zu folgenden Ergebnissen:

	Durchmesser der Quellschicht des Rothkleesamen in Mikromillimetern vor der Quellung.	nach der Quellung.
Beobachtung 1	8	312
„ 2	8	347
„ 3	10	271
„ 4	8	274
Mittel	8.5	301 [2])

1) Es darf ferner wohl angenommen werden, dass in den Zellen der Quellschicht Druckkräfte bei der Wasseraufnahme entstehen, in Folge welcher Flüssigkeitsquantitäten aus der Quellschicht in den Embryo und ebenso in die äusseren Schichten der Testa hineingepresst werden.

2) Im Vergleich zu der Ausdehnung, welche die Quellschicht der Samen von Trifolium pratense in Berührung mit Wasser erleidet, ist die Ausdehnung des übrigen Gewebes der Testa als eine unbedeutende anzusehen.

In einem directen Gegensatze zu solchen Samen, von denen viele Individuen das Phänomen der Schwerquellbarkeit zeigen, stehen bezüglich ihres Verhaltens dem Wasser gegenüber diejenigen, deren Testa mit einer oberflächlichen Quellschicht versehen ist. Derartiges ist z. B. bekanntlich bei den Samen von Cydonia vulgaris, Linum usitatissimum, Salvia pratensis etc. der Fall. Die Wandungen der Zellen der Epidermis dieser Samen sind, wie bereits früher angeführt worden ist, bis zum Verschwinden des Lumen verdickt, und jedes mit Wasser in Berührung gelangende Samenindividuum umgiebt sich mit einer Schleimschicht, indem der in dem Innern der Zellen gebildete Schleim durch die Membranen nach aussen filtrirt wird [1]). Bei den in Rede stehenden Samen kann also von leicht und schwer quellenden Individuen nicht weiter die Rede sein; jeder Samen geht eben in Folge der berührten Verhältnisse in Contact mit Feuchtigkeit ungemein leicht in den gequollenen Zustand über.

Dass die Wassermengen, welche schleimbildende Samen aufnehmen, sehr beträchtliche sind, lässt sich leicht constatiren. Ich experimentirte mit den Samen von Cydonia vulgaris. Einige Resultate meiner Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt [2]):

Gewicht der trockenen Samen. Grm.	Gewicht der gequollenen Samen. Grm.	Zeitdauer der Versuche. Stunden.	Temperatur. °C.
0.143	0.288	1	15.0
0.078	0.414	20	15.0
0.081	0.403	20	15.0
0.096	0.473	20	20.0 [3])

Gewissermassen in der Mitte zwischen denjenigen Samen, von welchen manche Individuen sehr schwer quellen, und andererseits denjenigen, welche das Wasser mit der grössten Leichtigkeit absorbiren, stehen solche Samenarten, die zwar unschwer quellen, aber die Feuchtigkeit dennoch nicht in so bedeutenden Quantitäten und so begierig wie die schleimbildenden Samen aufsaugen. Derartig verhalten sich z. B. Erbsen, Bohnen etc., ebenso die Früchte

---

1) Die Membranen zerreissen in Folge des Schleimaustritts in manchen Fällen thatsächlich nicht. Vgl. Sempolowski, Beiträge zur Kenntniss des Baues der Samenschale. Leipzig, 1874. S. 5.

2) Vgl. Detmer, Journal für Landwirthschaft. Jahrgang 27. S. 118.

3) Vgl. auch Haberlandt: Die Schutzeinrichtungen in der Entwickelung der Keimpflanze. Wien, 1877. S. 12.

vieler Gramineen. In Berührung mit Wasser quellen die einzelnen Individuen zwar mit ungleicher Geschwindigkeit auf, aber die Unterschiede im Verhalten der einzelnen Samen sind nicht entfernt mit denjenigen zu vergleichen, welche sich z. B. bei der Quellung der Lupinen- oder Kleesamen geltend machen.

Bringt man ein grösseres Quantum Erbsen in Contact mit Wasser, so zeigt sich, dass sich der Beginn der Quellung bei manchen Samenindividuen durch Faltung der Testa bereits nach sehr kurzer Zeit kenntlich macht; andere Individuen können jetzt noch vollkommen hart sein, aber auch die Wasseraufnahme dieser Samen lässt nicht lange auf sich warten. Ich habe Gelegenheit genommen, das Verhalten von Tausenden von Erbsensamen in Berührung mit Wasser genauer zu beobachten, und zwar zeigte sich, dass sämmtliche Samen bei höherer Temperatur (14—32° C.) nach Verlauf von 24 Stunden vollkommen gequollen waren. Bei der Ausführung eines Versuches gelangten 64 Erbsen mit Wasser von 4° C. in Berührung. Nach Verlauf von 24 Stunden war ein Samenindividuum noch völlig ungequollen, nach weiteren 24 Stunden hatte aber auch dieser Same Wasser aufgenommen [1]).

Der allerdings nicht sehr erhebliche Einfluss der Individualität der hier in Betracht kommenden Samen auf den Quellungsprocess zeigt sich übrigens nicht nur darin, dass der Beginn der Wasseraufnahme bei verschiedenen Exemplaren nicht genau auf dieselbe Zeit fällt, sondern ferner ebenfalls darin, dass die einzelnen Samenindividuen verschiedene Wasserquantitäten innerhalb derselben Zeit aufsaugen. Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Resultate, zu denen ich unter Benutzung weisser Riesenerbsen gelangte, lassen dies deutlich erkennen [2]):

---

1) Die hier angeführten Beobachtungsresultate sind unter Benutzung von weissen Riesenerbsen und kleinen grünen Erbsen gewonnen worden. Ganz kürzlich kam mir eine Probe der zuletzt genannten Samenvarietät in die Hände, von der einzelne Individuen ein merkwürdiges Verhalten in Contact mit Wasser zeigten. Diese Erbsen waren nämlich selbst nach mehr als 100 Stunden (bei etwa 17° C.) noch hart und ungequollen. Verletzung der Testa führte eine schnelle Wasseraufnahme herbei. Die erwähnten Samen verhielten sich also ähnlich wie schwer quellbare Lupinensamen, aber bei Erbsen macht sich ein derartiges Verhältniss nur ganz ausnahmsweise geltend.

2) Vgl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft. 27. Jahrgang. S. 370.

Gewicht einer Erbse in Grm.	Zeitdauer der Quellung in St.	Temperatur des Wassers in °C.	Aufgenommene Wassermenge in Grm.	Aufgenommene Wassermenge in %.
0.461	24	20.0	0.402	87.2
0.397	24	20.0	0.358	90.2
0.344	24	20.0	0.320	93.0
0.211	24	20.0	0.176	83.4

Diese und viele andere Beobachtungen, die ich mit Riesenerbsen anstellte, lassen deutlich erkennen, dass die Samenindividuen von beträchtlicherem absolutem Gewicht stets absolut mehr Wasser als die leichteren Samen aufnehmen. Dagegen ergaben meine Untersuchungen immer, dass die schwersten oder grössten Erbsenindividuen relativ weniger Wasser bei der Quellung absorbirten, als leichtere oder kleinere [1]), während die Samen von besonders geringem absolutem Gewicht meistens wieder relativ geringere Wasserquantitäten als die letzteren aufsogen. Die Ursache der hier berührten Erscheinungen ist offenbar wesentlich darin zu suchen, dass die grossen und kleinen Samen relativ verschiedene Quantitäten solcher Substanzen enthalten, welche für das Zustandekommen der Quellung von Bedeutung erscheinen [2]).

Im Anschluss an das in diesem Abschnitte bereits Gesagte dürfte es von Interesse sein, auf das Tempo, in welchem die Quellung der Samen erfolgt hinzuweisen. Ganz beachtenswerthe Angaben liegen in dieser Beziehung von Nobbe [3]) vor, der mit grossen weissen Puffbohnen experimentirte. 5 Samenindividuen von 2—3 Grm. Gewicht gelangten einzeln mit Wasser in Berührung. Die Untersuchungsobjecte wurden von Zeit zu Zeit aus der Flüssigkeit herausgenommen, abgetrocknet und gewogen. Die procentische Wasseraufnahme im Verlaufe der Quellung (bei 16—18° C.) bis zum Hervorbrechen des Würzelchens gestaltete sich wie folgt:

1) Zu demselben Resultate führten die Beobachtungen, wenn sie 40 oder 48 Stunden lang fortgesetzt wurden. Wollte man sehr kritisch sein, so liessen sich gegen die Richtigkeit der hier gezogenen Schlussfolgerung noch einige Bedenken geltend machen. Ich habe derartige Bedenken aber in meiner citirten Abhandlung auf Grund der Ergebnisse verschiedener Experimente zurückgewiesen.

2) Man vgl. auch über die hier berührten Verhältnisse eine Abhandlung von Tschaplowitz in den Versuchsstationen, B. 19, S. 412. Derselbe fand, dass schwerere Gersten- sowie Roggenkörner etc. bis zum Hervorbrechen des Würzelchens relativ weniger Wasser als leichtere aufnahmen.

3) Vgl. Nobbe, Handbuch der Samenkunde. S. 110.

Nach Stunden	I.	II.	III.	IV.	V.	Mittel d. Zunahme überhaupt	pr. Stde.
2	1.07	0.40	0.93	0.78	0.93	0.82	0.41
5	4.07	1.50	2.14	2.62	1.97	2.46	0.82
17	71.97	83.65	72.49	68.48	25.00	64.41	5.37
24	26.15	15.16	22.70	37.91	23.31	25.05	3.58
42	17.20	31.05	24.78	13.66	69.03	31.14	1.73
48	3.09	1.74	2.91	2.16	3.97	2.77	0.46
53	1.44	2.40	1.62	2.15	2.48	2.02	0.40
65	4.54	3.39	1.36	3.23	3.31	3.17	0.26
89	3.16	0.41	2.03	4.76	3.49	2.77	0.12
113	3.52	5.22	3.68	7.54	2.11	4.41	0.18
120	0.63	1.70	0.70	0.51	0.69	0.85	0.12
137	2.81	—1.94	2.79	5.02	2.55	2.25	0.13
144	1.06	2.15	0.96	1.04	0.73	1.19	0.17
161	2.64	—0.37	2.90	3.97	3.10	2.25	0.13
168	0.52	0.99	—0.03	1.94	0.13	0.71	0.10
185	2.39	1.24	2.36	1.22	2.36	1.91	0.11
192	0.60	—0.57	0.77	5.87	2.83	1.90	0.27
209	1.97	2.48	1.35	—	—	1.18	0.07
216	0.39	1.79	0.59	—	—	0.55	0.08
257	3.13	4.50	3.36	—	—	2.20	0.05
266	0.21	—	0.13	—	—	0.07	0.01
305	1.41	—	1.16	—	—	0.51	0.01
357	0.57	—	0.58	—	—	0.23	0.00
Sa. der Zunahme:	154.54	156.89	152.26	162.86	147.99	154.82	—
Quellrückstand:	2.12	3.39	2.21	1.50	2.08	2.29	—
Sa. Sa.	156.66	160.28	154.47	164.36	150.07	157.11	—

Ebenso habe ich einige Beobachtungen über das Tempo, in welchem der Quellungsprocess der Erbse verläuft, ausgeführt und gefunden, dass die Wasseraufnahme auch bei diesem Samen zunächst nur eine geringfügige ist, dann energischer wird, um schliesslich wieder abzunehmen. Die folgenden Angaben zeigen dies deutlich [1]):

Zeit.			Gewicht der Erbsen in Grm. I.	II.	Temperatur des Quellwassers in ° C.
2. August	$2\frac{1}{4}$	p. m.	0.493	0.469	22.0
„	$2\frac{3}{4}$	„	0.503	0.486	22.0
„	$3\frac{1}{4}$	„	0.506	0.505	22.0
„	4	„	0.520	0.528	21.7
„	$4\frac{3}{4}$	„	0.550	0.566	21.5
„	$5\frac{1}{2}$	„	0.586	0.610	21.2
„	$6\frac{1}{4}$	„	0.624	0.650	21.0

1) Vgl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft. 27. Jahrgang. S. 369.

Zeit.	Gewicht der Erbsen in Grm. I.	II.	Temperatur des Quellwassers in ° C.
3. August $9\frac{1}{2}$ a. m.	0.959	0.899	21.0
„ $10\frac{1}{4}$ „	0.966	0.905	21.2
4. „ $11\frac{1}{2}$ „	1.057	1.014	23.0

Ich habe mich unter Benutzung von Erbsen- sowie von Lupinensamen davon überzeugt, dass die gesammte Oberfläche derselben im Stande ist, Wasser mit dem sie in Berührung gelangt, zu absorbiren. Das Wasser kann nicht etwa nur an bestimmten Stellen in das Gewebe der Untersuchungsobjecte eindringen, sondern die Gesammtoberfläche der Testa ist permeabel für dasselbe. Wenn man z. B. Erbsen auf Nadeln befestigt, und dieselben nunmehr derartig mit Wasser in Berührung bringt, dass die Flüssigkeit lediglich einen Theil der äusseren Fläche der sich über die convexe Fläche der Cotyledonen hinwölbenden Samenschale benetzt, so beginnt die Wasseraufnahme alsbald. Die Cuticula muss also permeabel für Wasser sein; jedes Wassermolekül, das in tiefer liegende Schichten der Testa eindringt, muss dieselbe zunächst passirt haben.

Keineswegs aber gewähren uns die Ergebnisse dieser Versuche Aufschluss über die Frage, ob das Wasser von allen Theilen der Oberfläche der Testa mit derselben Geschwindigkeit aufgesogen wird, oder ob nicht etwa bestimmte Regionen derselben als besonders permeabel für die Flüssigkeit erscheinen. Diese Frage haben sich bereits verschiedene Beobachter vorgelegt und Untersuchungen zu ihrer Beantwortung angestellt.

G. Haberlandt[1]) brachte einen Samen von Phaseolus multiflorus derartig mit destillirtem Wasser in Berührung, dass das Hilum nicht benetzt wurde (A). Eine zweite Schminkbohne wurde dagegen völlig untergetaucht (B). Erstere Bohne wog 1.942 Grm., letztere 2.112 Grm. Die Gewichtszunahme betrug in Procenten des Anfangsgewichtes bei

	A.	B.
nach 1 Stunde	0.30 %	5.09 %
„ 2 „	0.97 „	12.78 „
„ 3 „	2.51 „	24.14 „

Anderweitige Beobachtungen haben ebenfalls ergeben, dass derjenige Theil der Testa, welcher den Samen am Nabelende um-

1) Vgl. G. Haberlandt, Die Schutzeinrichtungen in der Entwickelung der Keimpflanze. Wien, 1877. S. 9.

giebt, das Wasser mit besonderer Leichtigkeit aufsaugt [1]), und wir sehen uns zu der Annahme berechtigt, dass die Ursache dieser Erscheinung in besonderen Eigenthümlichkeiten des anatomischen Baues der Samenschale am Hilum zu suchen ist.

Eine Beschleunigung des Quellactes der Samen kann aber noch auf anderem Wege herbeigeführt werden. So zeigt sich bei mikroskopischer Untersuchung der Testa von Canna, dass dieselbe mit einer grossen Zahl Spaltöffnungen versehen ist. Die Athemhöhlen der Spaltöffnungen durchsetzen die gesammte Pallisadenschicht der Testa und erweitern sich in der darunter befindlichen Sklerenchymschicht bedeutend. Wären die Spaltöffnungen nicht vorhanden, so würden die Cannasamen entschieden noch viel schwieriger aufquellen, als es ohnedies schon der Fall ist; die vorhandenen Poren saugen das Wasser capillar auf und führen es den inneren Regionen der Testa zu [2]).

Fünftes Capitel.

Die Volumenzunahme quellender Samen.

Wenn organisirte Gebilde mit Wasser in Berührung gelangen und dasselbe aufnehmen, so müssen sie eine Volumenzunahme erfahren. Von vornherein ist es unwahrscheinlich, dass die Grösse dieser Volumenzunahme der Grösse des Volumens der absorbirten Wasserquantität genau entsprechen wird, und durch das directe Experiment kann die Richtigkeit dieser Voraussetzung in der That leicht dargethan werden.

Zunächst ist klar, dass das Stattfinden eines jeden Imbibitionsprocesses mit einer Wasserverdichtung verbunden sein muss. 100 Cc. einer imbibitionsfähigen Substanz werden in Folge dessen, wenn sie 50 Cc. Wasser absorbirt haben, ihr Volumen nicht auf 150 Cc., sondern vielleicht nur auf 148 Cc. vergrössern. Dass aber bei der Quellung der Samen eine Wasserverdichtung stattfindet, ist nach den Ergebnissen der von Wiesner [3]) und mir [4]) ausgeführten Experimente als unzweifelhaft anzusehen. Wiesner hat nämlich eingehendere Untersuchungen über die Ursachen der Selbsterwärmung keimender Samen angestellt, und dabei ergab

1) Vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 20. S. 96.

2) Vgl. G. Haberlandt, Die Schutzeinrichtungen. S. 10.

3) Vgl. Wiesner, Versuchsstationen. B. 15. S. 135.

4) Vgl. Detmer, Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. B. 2. S. 1.

sich, dass die Selbsterwärmung der benetzten Untersuchungsobjecte sich bereits vor beginnender Kohlensäureentwickelung geltend machte. Wir kommen in einem anderen Zusammenhange eingehender auf die Untersuchungen Wiesners zurück; hier sei nur so viel bemerkt, dass die von dem genannten Forscher gewonnenen Resultate dafür sprechen, dass in den keimenden Samen — abgesehen von Stoffwechselprocessen — noch anderweitige Momente thätig sind, welche zu einer Freiwerdung von Wärme führen. Und ganz bestimmt sind Imbibitionsprocesse und die damit Hand in Hand gehende Wasserverdichtung als solche Momente anzusehen, denn ich habe die Entbindung von Wärme bei dem Zustandekommen der Imbibition ganz direct constatiren können. Aus dem Gesagten scheint hervorzugehen, dass das Volumen gequollener Samen stets etwas geringer sein wird als das Volumen der lufttrockenen Samen plus dem Volumen der aufgenommenen Wasserquantität. Die directe Beobachtung führt indessen zu einem ganz anderen Ergebnisse.

Payen[1]) fand, dass verschiedene Samen, welche dreimal nach je 24 Stunden (mit je 5 Gewichtsprocenten Wasser) benetzt wurden, folgende Volumenzunahme erfuhren:

Bei	5	10	15 %	Gewichtszunahme.
Weizen	15	25	25.5 „	Volumenzunahme.
Roggen	13	25	33 „	„
Gerste	10	18	22 „	„
Hafer	10	22	25 „	„

Nobbe[2]) bemerkt richtig, dass es kein glücklicher Gedanke Payens gewesen sei, die Volumenzunahme der Samen in Procenten auszudrücken, da wir es in der Samensubstanz und dem Wasser mit Körpern von verschiedenem specifischen Gewichte zu thun haben. Treten 5 Grm. Wasser in 100 Grm. Samen ein, so wird dies nicht, wenn wir auch von allen Verhältnissen, die sich auf die eigenthümliche Organisation der Samen beziehen, absehen, eine Volumenzunahme der Samen von 5 % bedingen[3]), sondern wir werden, da das specifische Gewicht der Samen meist grösser als dasjenige des Wassers ist, und somit ein gegebenes Gewicht

1) Vgl. Nobbe, Handbuch der Samenkunde. S. 120.

2) Vgl. Nobbe: Ebendaselbst. S. 121.

3) In der Regel wird zu Quellungsversuchen Wasser benutzt, welches eine höhere Temperatur als + 4° C. besitzt. Somit nehmen 5 Grm. Wasser nicht ein Volumen von 5 Cc., sondern ein etwas grösseres ein. Diesen Umstand lassen wir hier ebenfalls ausser Acht.

der Samen einen kleineren Raum als das gleiche Gewicht Wasser einnimmt, eine erheblich bedeutendere procentische Volumenzunahme constatiren müssen.

Aber wenn wir die Volumenzunahme der quellenden Samen auch in absoluten Ziffern zum Ausdruck bringen, so zeigt sich ebenfalls sehr häufig, dass das Volumen der mit Wasser imbibirten Untersuchungsobjecte beträchtlich grösser als dasjenige der lufttrockenen Samen plus demjenigen der aufgenommenen Flüssigkeitsmenge ist. Die Ergebnisse gewisser von Horky[1]) unter Benutzung von Weizen- sowie Roggenkörnern etc. ausgeführten Bestimmungen lassen dies bereits deutlich erkennen; namentlich müssen wir hier aber zunächst auf die Resultate verschiedener Beobachtungen, die Nobbe[2]) anstellte, hinweisen.

Derselbe bestimmte z. B. die Gewichts- sowie Volumenzunahme, welche eine Erbsenquantität, die 65.418 Grm. wog und ein Volumen von 43.0 Cc. besass, beim Quellen erlitt. Der Versuch lieferte die folgenden Resultate:

	Absolute Gewichtszunahme. Grm.	Absolute Volumenzunahme. Cc.
in 14 Stunden	46.41	46.0
„ 41 „	8.02	19.0
„ 70 „	8.52	7.0
	Sa. 62.95	72.0

Die Untersuchungen, welche Nobbe unter Benutzung der Samen von Phaseolus vulgaris anstellte, namentlich aber diejenigen, bei deren Ausführung er die Früchte von Pinus austriaca anwandte, lassen hingegen deutlich erkennen, dass gequollene Samen und Früchte nicht immer ein grösseres Volumen als die lufttrockenen Untersuchungsobjecte plus dem Volumen des absorbirten Wassers besitzen, sondern dass das Volumen der mit Feuchtigkeit imbibirten Pflanzentheile oft recht beträchtlich kleiner als das ursprüngliche Volumen der Samen, respect. Früchte sowie des Wassers erscheint. Die Ursachen der hier berührten Erscheinungen sind — soviel lässt sich a priori vermuthen — im anatomischen Bau der Samen und Früchte selbst begründet. Bevor wir aber dazu übergehen, jene Ursachen specieller zu erforschen, müssen wir unsere Kenntniss über die thatsächlich zu constatirenden Verhältnisse noch etwas erweitern, und eine derartige Aufgabe ist

1) Vgl. Horky in Fr. Haberlandts wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. B. 2. S. 38.

2) Vgl. Nobbe, Handbuch. S. 122.

um so dankenswerther, als dieselbe uns Gelegenheit bietet, auf einige weitere Verhältnisse von erheblichem Interesse näher einzugehen.

Es ist bereits seit langer Zeit bekannt, dass durch quellende Samen ganz bedeutende Druckkräfte erzeugt werden können. Derartiges hat bereits Hales[1]) constatiren können, und dasselbe illustrirt die von Hofmeister[2]) festgestellte Thatsache, dass die Volumenzunahme quellender Erbsen erst dann zum Stillstande kommt, wenn dieselben einem Drucke von fast drei Atmosphären ausgesetzt werden. J. Böhm[3]) will sogar gefunden haben, dass quellende Erbsen einen Druck von 18 Atmosphären zu überwinden im Stande sind[4]).

Bei der Beurtheilung der Resultate der angeführten Beobachtungen ist wohl im Auge zu behalten, dass die Substanz der sich mit Wasser in Berührung befindenden Samen nach Verlauf einiger Zeit einer lebhaften Oxydation anheimfällt. Die in Folge dessen producirte Kohlensäure muss natürlich Druckwirkungen zur Geltung bringen, und bei den Versuchen von Hales, welche drei Tage lang fortgeführt wurden, hat die Gasentwickelung entschieden vor allen Dingen das Zustandekommen der Druckkräfte herbeigeführt. Hofmeisters Beobachtungen lassen hingegen deutlich erkennen, dass der Quellungsprocess der Samen an sich erhebliche Druckkräfte zu erzeugen im Stande ist. Und in der That lassen die Ergebnisse gewisser von N. J. C. Müller[5]), Nobbe[6]) und mir[7]) ausgeführter Untersuchungen darüber keinen Zweifel bestehen, dass diese Auffassung auf einer richtigen Voraussetzung basirt[8]). Die von mir angestellten Beobachtungen sind in der folgenden Weise ausgeführt worden:

---

1) Hales, veget. Staticks. 1727. p. 204.

2) Hofmeister, Die Lehre von der Pflanzenzelle. 1867. S. 277.

3) Böhm hat dies Ergebniss Herrn N. J. C. Müller (vgl. dessen botan. Untersuchungen, II, S. 29) mündlich mitgetheilt.

4) Diese Angabe ist sicher mit Vorsicht aufzunehmen.

5) Vgl. N. J. C. Müller, Botanische Untersuchungen. IV. S. 117.

6) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 126.

7) Vgl. Detmer, Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. H. 2. S. 1.

8) Samen können auch, wie ich oft beobachtete, bei der Quellung in offenen Gefässen zur Entstehung von Druckkräften Veranlassung geben, die aber mit den hier speciell in Rede stehenden nicht zu verwechseln sind. Wenn nämlich Samen auf dem Boden von Gefässen gleichmässig ausgebreitet sind und nun mit Wasser übergossen werden, so nehmen sie, ohne ihre Lage zu verändern, Wasser auf. Sie

Die Samen (Erbsen) mit denen ich experimentirte, gelangten in etwa 600 Cc. fassende weithalsige Kolben [1]). Das Untersuchungsmaterial wurde nun mit Wasser übergossen, und die Kolben bis zum Rande mit dieser Flüssigkeit angefüllt. Die Mündung der Gefässe konnte mit einem zweifach durchbohrten Kautschukkork verschlossen werden. Die eine Bohrung diente zur Aufnahme eines Thermometers, welches so weit eingeführt wurde, dass die Quecksilberkugel desselben völlig von den quellenden Erbsen umgeben war, die zweite aber zur Aufnahme eines etwa 0.5 Cc. Durchmesser besitzenden Steigrohres. Den Stand des Wassers bei Beginn eines jeden Versuches notirt man. Mit Hülfe eines Cirkels und eines Millimetermassstabes lässt sich dann die Niveauveränderung der Flüssigkeit im Steigrohre in Folge der Quellung der Samen leicht bestimmen.

Zu bemerken ist noch, dass der jeweilige Wasserstand im Steigrohre noch nicht genau auf die Volumenzunahme oder Volumenabnahme des Kolbeninhaltes schliessen lässt, indem nämlich während der Versuche stattfindende Temperaturschwankungen den Wasserstand selbstverständlich beeinflussen. Es mussten deshalb für jeden benutzten Kolben besondere Controlversuche ausgeführt werden, um die Grösse der scheinbaren Ausdehnung des Wassers zu constatiren. Ohne mich hier noch weiter über die Methode der Untersuchung und die anzuwendenden Vorsichtsmassregeln auszusprechen, gehe ich direct zur Mittheilung einiger von mir gewonnenen Resultate über. In der folgenden Tabelle sind unter I. die Beobachtungszeiten in Stunden und Minuten angegeben; unter II. ist die Temperatur eines Wasserquantums, welches etwa dieselbe Grösse wie dasjenige besass, welches sich mit den Erbsen in Berührung befand, unter III. aber die Temperatur der Erbsen sowie des Wassers in °C. aufgeführt. Die Werthe unter IV. beziehen sich auf den Stand des Wassers im Steigrohre und drücken

dehnen sich mehr und mehr aus und gerathen somit nach und nach in innige Berührung mit einander. In Folge weiterer Wasseraufnahme äussert ein Same auf den anderen einen lebhaften Druck und die der Wandung des Gefässes anliegenden Samen üben ebenfalls auf diese einen sehr lebhaften Druck aus. Ich habe oft gesehen, dass auf diese Weise eine Zertrümmerung selbst sehr starker Glasgefässe herbeigeführt werden kann. Diese Erscheinung kann, wie leicht einzusehen ist, auch ohne eine Gesammtvolumenzunahme des Wassers und der Samen bei der Quellung zu Stande kommen.

1) 100 Grm. der lufttrockenen Erbsen (weisse Riesenerbsen), mit denen ich zunächst experimentirte, besassen ein Volumen von 71.0 Cc.

Cm. aus. Unter V. endlich ist das Steigen und Fallen des Wassers (auf die Zeit von 10 Minuten bezogen) in Cm. angegeben.

300 Grm. weisser Riesenerbsen. Steighöhe des Wassers für 1° C. im Mittel = 0.70 Cm.[1]).

I.		II.	III.[2])	IV.	V.	I.		II.	III.	IV.	V.
10	12	19.3	20.5	8.5	—	11	50	21.2	22.6	14.7	— 1.0
10	15	19.3	20.5	11.4	+ 9.67	12	—	21.4	22.7	13.9	— 0.8
10	20	19.3	20.6	13.9	+ 5.0	12	20	21.4	22.7	13.0	— 0.45
10	25	19.5	20.6	15.6	+ 3.4	12	40	21.5	23.0	12.2	— 0.4
10	30	19.6	20.8	16.8	+ 2.4	1	—	21.4	23.1	11.5	— 0.35
10	35	19.7	21.0	17.9	+ 2.2	1	20	21.3	23.2	11.2	— 0.15
10	40	20.0	21.3	18.3	+ 0.8	1	40	21.3	23.2	11.1	— 0.05
10	45	20.0	21.3	18.7	+ 0.8	2	—	21.2	23.3	11.4	+ 0.15
10	50	20.0	21.5	18.8	+ 0.2	2	20	21.1	23.3	12.4	+ 0.5
10	55	20.2	21.7	18.9	+ 0.2	2	40	21.1	23.2	13.7	+ 0.65
11	—	20.5	21.9	18.9	—	3	—	21.0	23.2	15.4	+ 0.85
11	5	20.6	21.9	18.8	— 0.2	3	20	20.8	23.2	17.3	+ 0.95
11	10	20.8	22.1	18.6	— 0.4	3	40	20.6	23.2	19.4	+ 1.05
11	15	20.8	22.2	18.2	— 0.8	4	—	20.4	23.1	21.9	+ 1.25
11	20	20.8	22.2	17.9	— 0.6	4	10	20.3	22.9	23.0	+ 1.1
11	30	21.0	22.4	17.0	— 0.9	4	20	20.3	22.8	24.3	+ 1.3
11	40	21.0	22.5	15.5	— 1.3	6	—	19.5	22.0	36.2	+ 1.19

Eine fernere Versuchsreihe wurde von mir unter Benutzung kleiner grüner Erbsen ausgeführt[3]). Es gelangten 300 Grm. Samen zur Anwendung. Die Temperatur im Apparat stieg während der Beobachtungen von 20.0 bis auf 21.5° C. Die Steighöhe des Wassers im Steigrohr betrug für 1° C. 0.60 Cm. Der Gang der Temperatur ist in der folgenden Tabelle nicht specieller aufgeführt. Unter I sind die Beobachtungszeiten in Stunden und Minuten angegeben. Die Werthe unter II beziehen sich auf den Stand des Wassers im Steigrohr in Cm., und diejenigen unter III auf das Steigen und Fallen des Wassers in Cm. (bezogen auf die Zeit von 10 Minuten).

1) Ich habe es unterlassen, die für die Steighöhe des Wassers gefundenen Werthe auf eine bestimmte Temperatur zu reduciren, denn dasjenige, was die Zahlen in den Columnen IV und V zeigen sollen, wird ebenfalls ohne die Reduction klar durch dieselben zum Ausdruck gebracht.

2) Ein Vergleich der in den Columnen II und III aufgeführten Werthe zeigt, dass der Quellungsprocess der Samen zu einer Freiwerdung von Wärme Veranlassung gab.

3) Vgl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft. 27. Jahrgang. S. 364.

I.		II.	III.	I.		II.	III.
9	10	5.8	—	10	10	36.0	+ 1.4
9	15	6.8	+ 2.5	10	15	36.8	+ 1.6
9	20	7.8	+ 2.0	10	20	37.6	+ 1.6
9	25	9.5	+ 2.4	10	25	38.2	+ 1.2
9	30	10.5	+ 3.0	10	30	38.7	+ 1.0
9	35	12.9	+ 4.8	10	40	39.3	+ 0.6
9	40	16.1	+ 6.4	10	50	37.9	— 1.4
9	45	19.6	+ 7.0	11	—	37.0	— 0.9
9	50	23.6	+ 8.0	11	10	38.3	+ 1.3
9	55	27.9	+ 8.6	11	20	40.5	+ 2.2
10	—	32.4	+ 9.0	11	35	44.4	+ 2.6
10	5	35.3	+ 5.8	11	40	46.1	+ 3.4

Die angeführten Beobachtungsergebnisse zeigen zunächst mit aller Bestimmtheit — und dasselbe lassen viele andere von mir ausgeführte Beobachtungsreihen erkennen — dass das Gesammtvolumen des Wassers und der Erbsen in gewissen Stadien der Quellung eine Zunahme erleidet. Der Umstand, dass das Wasser sich im Steigrohre zu gewissen Zeiten erhebt, lässt hierüber gar keinen Zweifel bestehen. Es ist aber interessant, dass verschiedene Erbsenvarietäten sich in der hier in Rede stehenden Beziehung bei der Quellung durchaus nicht identisch verhalten, während — wie meine oft wiederholten Beobachtungen mit Sicherheit erkennen lassen — ein und dieselbe Erbsenvarietät stets fast genau dieselben Quellungserscheinungen hervorruft. Wir haben mit Rücksicht auf die hier in Betracht kommenden Verhältnisse drei Quellungsstadien zu unterscheiden. Während des ersten Stadiums erleiden die Erbsen und das Wasser eine Gesammtvolumenzunahme (Hebung des Wassers im Steigrohre). Das zweite Stadium ist durch eine Gesammtvolumenabnahme charakterisirt (Sinken des Wassers im Steigrohre). Endlich erfährt das Untersuchungsmaterial im dritten Quellungsstadium abermals eine Gesammtvolumenzunahme (Hebung des Wassers im Steigrohre).

Mit Rücksicht auf die weissen Riesenerbsen ist zu bemerken, dass das Gesammtvolumen des Wassers und der Samen zunächst eine rapide Zunahme erfährt. Diese Volumenzunahme schreitet immer mehr fort, aber mit abnehmender Energie. Endlich ist das Maximum erreicht, und nun tritt eine sich zunächst langsame, dann immer schneller, aber weiterhin sich aufs Neue langsamer geltend machende Abnahme im Gesammtvolumen der Erbsen und des Wassers ein. Jetzt erfährt das Gesammtvolumen der Samen und der Flüssigkeit wieder eine allmählich energischer werdende

Zunahme, und zwar ist dieselbe so bedeutend, dass die bei Beginn der Versuche hervorgerufene Volumenzunahme überholt wird. Es ist von Interesse, dass das Wasser im Steigrohre im Verlaufe des ersten und zweiten Quellungsstadiums — wenn man gleich grosse Samenquantitäten benutzt — seinen höchsten und tiefsten Stand stets nach fast genau denselben Zeiten einnimmt.

Unter Benutzung kleiner grüner Erbsen gestaltet sich der Verlauf der Quellung andersartig als dann, wenn man mit weissen Riesenerbsen experimentirt. Die Gesammtvolumenzunahme der Samen und des Wassers ist zunächst eine unbedeutende; sie wird fortdauernd lebhafter, um schliesslich wieder schwächer zu werden. Das zweite Quellungsstadium tritt nur in beschränktem Umfange hervor, und das Wasser im Steigrohre sinkt in Folge dessen nur wenig. Die erneute Gesammtvolumenzunahme der Erbsen und des Wassers macht sich alsbald geltend, so dass das Wasser sich im Steigrohre, zunächst langsam, dann immer schneller, erhebt.

Es handelt sich nunmehr für uns darum, die Ursachen, welche das verschiedenartige Verhalten der Erbsen während der drei Quellungsstadien bedingen, festzustellen.

Die bei Beginn des Quellungsprocesses sich namentlich lebhafter geltend machende Wasserverdichtung muss, wie wir bereits gesehen haben, zu einer Abnahme des Gesammtvolumens der Erbsen und des Wassers im Kolben führen. Wenn diese Volumenabnahme nicht unmittelbar beobachtet werden kann, so ist damit keineswegs gesagt, dass die ihr zu Grunde liegenden Ursachen nicht wirksam sind. Vielmehr sind neben den Ursachen, welche eine Gesammtvolumenabnahme der Samen und der Flüssigkeit bedingen, anderweitige thätig, die eine Gesammtvolumenzunahme herbeiführen. Diese letzteren Ursachen machen sich aber energischer als jene ersteren geltend, und aus diesem Grunde erhebt sich das Wasser rapide im Steigrohre. Welche Momente wirken aber dahin, dass die Gesammtvolumenzunahme im ersten Quellungsstadium zu Stande kommt?

Es hat gar keine Schwierigkeiten, den Nachweis zu liefern, dass die Testa der Erbsen die Hebung des Wassers im Steigrohr bedingt. Ich habe in meiner in Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik veröffentlichten Abhandlung Versuche mitgetheilt, bei deren Ausführung ich nicht unversehrte weisse Riesenerbsen benutzte, sondern solche, deren Samenschale verletzt

worden war. In Berührung mit Wasser liessen diese Untersuchungsobjecte das Hervortreten der Hebung des Wassers im Steigrohre nicht erkennen; vielmehr sank das Wasser von Beginn der Beobachtungen an mehrere Stunden lang.

Werden unversehrte Erbsen mit Wasser in Berührung gebracht, so tritt alsbald eine deutliche Faltung der Samenschale hervor. Unter den Falten entstehen, indem sich die Testa von den Cotyledonen abhebt, mit verdünnter Luft erfüllte Hohlräume, und es wird also die rapide Volumenzunahme der Erbsen und der Flüssigkeit im Kolben auf diese Weise vollkommen verständlich.

Gehen wir zur Ermittelung derjenigen Ursachen über, welche die Abnahme im Gesammtvolumen der Erbsen und des Wassers während des zweiten Quellungsstadiums bedingen, und welche in Folge dessen ein Sinken der Flüssigkeit im Steigrohre herbeiführen, so ist zu bemerken, dass hier vor allen Dingen die unter der Testa während des ersten Quellungsstadiums entstandenen, mit verdünnter Luft erfüllten Hohlräume eine Rolle spielen müssen. Wenn das Wasser bei Beginn der Quellung sehr lebhaft von den Zellen der Testa absorbirt worden ist, so turgesciren dieselben. Die auf diese Weise in den Zellen hervorgerufenen Druckkräfte pressen einen Theil der Flüssigkeit in die zwischen der Samenschale und den Cotyledonen gebildeten Hohlräume, und dieselben füllen sich in Folge dessen mit Wasser. Dieser Process muss nothwendig eine Abnahme des Gesammtvolumen der Erbsen und des Wassers, respect. ein Sinken des Wassers im Steigrohre herbeiführen. Ziemlich schwierig ist es nun aber, sich eine sachgemässe Vorstellung über die Ursachen zu bilden, welche die erneute Hebung des Wassers während des dritten Quellungsstadiums der Erbse bedingen.

Man könnte meinen, dass das erneute Auftreten einer Gesammtvolumenzunahme allein auf eine Entwickelung bedeutender Kohlensäuremengen zurückzuführen sei. Die Parenchymzellen der Cotyledonen enthalten bekanntlich bedeutende Quantitäten von Reservestoffen. Diese Körper werden leicht durch den Sauerstoff unter Kohlensäurebildung zersetzt, und es liegt somit die Vermuthung nahe, dass das Gas, indem dasselbe einen Druck auf die Testa ausübt und diese auszudehnen bestrebt ist, die Gesammtvolumenzunahme bedingt. Eine derartige Anschauung muss schon a priori als unhaltbar erscheinen; dass sie aber gänzlich unzulässig ist, zeigen die Ergebnisse meiner Experimente, bei deren Ausführung ich der Testa beraubte Samen gemeinsam mit Wasser in meinen Apparat brachte. Die Hebung des Wassers im

Steigrohre während des dritten Quellungsstadiums zeigt sich in diesem Falle ebenfalls. Eine Gasentwickelung kann — dies unterliegt keinem Zweifel — wohl dazu beitragen, die Hebung des Wassers mit herbeizuführen; dass dieselbe aber zumal zu Beginn des dritten Quellungsstadiums nur von untergeordneter Bedeutung ist, geht mit Bestimmtheit aus den Resultaten der folgenden von mir ausgeführten Experimente hervor[1]).

Weisse Riesenerbsen wurden in dem beschriebenen Apparate mit Wasser übergossen. Nach Verlauf von 7 Stunden, als das Steigen der Flüssigkeit im Steigrohre während des ersten Quellungsstadiums und ebenso das Sinken während des zweiten normal hervorgetreten waren, wurden die Samen aus dem Glaskolben herausgenommen, ihrer Testa beraubt, um die Cotyledonen nun in mehrere Stücke zu zerschneiden. Ein grösseres Quantum derartiger Samenlappenstücke wurde im Kolben aufs Neue mit Wasser übergossen und der Kork mit dem Thermometer sowie dem Steigrohre aufgesetzt. Das Wasser erhob sich selbst bei allmählich zunehmender Temperatur nicht im Glasrohre, sondern sank continuirlich[2]). Erst nach etwa 12 Stunden erfolgte eine mit lebhafter Gasentwickelung verbundene rapide Hebung der Flüssigkeit im Steigrohre.

Ferner wurden weisse Riesenerbsen längere Zeit in einem Raum, in dem eine Temperatur von 100—103° C. herrschte, belassen. Nachdem die Samen den lufttrockenen Zustand aufs Neue angenommen hatten, gelangten sie im Apparat mit Wasser in Berührung. Das Wasser erhob sich zunächst rapide im Steigrohre; nach 45 Minuten hatte die Flüssigkeit ihren höchsten Stand angenommen. Sie sank jetzt mehr als 12 Stunden lang, und die Hebung, durch die der Eintritt des dritten Quellungsstadiums sonst charakterisirt wird, war nicht zu constatiren. Erst weiterhin stieg das Wasser im Glasrohr empor, aber zu dieser Zeit war bereits eine lebhaftere Gasentwickelung zu bemerken.

Die Erbsen lassen die Hebung des Wassers im Steigrohre, respect. die Gesammtzunahme im Volumen der Samen und des Wassers während des dritten Quellungsstadiums also nur im unversehrten Zustande normal hervortreten. Der Umstand, dass zerschnittene Cotyledonen oder vorher stark erwärmte Samen dieselbe Erscheinung nicht zeigen, führt unzweifelhaft zu der Ueberzeugung, dass eine Gasentwickelung nicht als wesentliche Ursache

1) Vergl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft. 27. Jahrg. S. 365.

2) Während dieses Sinkens war keine Gasentwickelung bemerkbar.

des Phänomens anzusehen ist. Vielmehr verdankt dasselbe dem anatomischen Bau der Cotyledonen seine Entstehung.

Bekanntlich lassen die Zellen des Parenchyms der Cotyledonen grosse, im trockenen Samen mit Luft erfüllte Zwischenräume (Intercellularräume) zwischen sich [1]) [2]). Während der ersten beiden Quellungsstadien sind es zumal die Zellen der Testa, welche Flüssigkeit aufsaugen. Im weiteren Verlaufe der Quellung hingegen absorbiren vorwiegend die Zellen der Cotyledonen das Wasser. Experimentirt man mit zerschnittenen Cotyledonen oder mit solchen Samen, deren gesammte feinere Structur durch höhere Temperaturen wesentliche Modificationen erfahren hat, so kann das Wasser unmittelbar in die Intercellularräume eindringen, und Hohlräume, welche vorher Luft führten, füllen sich nunmehr mit Flüssigkeit an. Dies muss ein Sinken des Wassers im Steigrohre zur Folge haben. Verwendet man dagegen unverletzte Samen zu den Beobachtungen, so heben sich die Zellmassen während des dritten Quellungsstadiums von einander ab, die vorhandenen Zwischenräume werden erweitert, und damit ist die Ursache zum Zustandekommen der Zunahme im Gesammtvolumen der Samen sowie des Wassers gegeben.

Den Erbsen analog mögen sich wohl noch manche andere Samen bei der Quellung verhalten. Bohnen (Buschbohnen) hingegen lieferten bei bezüglichen von Nobbe [3]) ausgeführten Experimenten die folgenden Resultate:

Das Wasser stieg zunächst in Folge der eintretenden Faltung der Testa bedeutend im Steigrohre empor. Dann sank es aber 8 Stunden lang sehr erheblich, um schliesslich wieder zu steigen. Der Hauptunterschied zwischen den Quellungserscheinungen der Erbsen und Bohnen besteht aber darin, dass der Wasserstand im Steigrohre während der Beobachtungen bei ersteren Samen stets ein höherer als zu Anfang des Versuchs ist, während der Wasserstand bei der Untersuchung der Quellungsphänomene der Bohnen alsbald unter den Nullpunkt herabsinkt und sich erst in Folge

1) Vergl. hierüber Sachs, Sitzungsbericht d. Akdm. d. Wiss. zu Wien. 1859. B. 37. S. 61 und eine Abbildung des Parenchyms der Erbsen bei Sachs, Lehrbuch d. Botanik, 4. Aufl., S. 53.

2) Ueber den Luftgehalt verschiedener Samen und Früchte haben neuerdings namentlich Adamec und Klose (vergl. Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, B. 1, S. 435) Untersuchungen angestellt. Erbsensamen enthalten danach etwa 5, Weizenfrüchte etwa 2 und Haferfrüchte etwa 15 Volumenprocent Luft.

3) Vergl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 129.

von Gasentwickelung wieder über denselben erheben kann. Diese Erscheinung findet ihre Erklärung einfach in dem Umstande, dass der Bohnensame ganz bedeutende mit Luft erfüllte Hohlräume in sich birgt, die sich natürlich im Verlauf der Quellung mit Wasser anfüllen.

Eine von Nobbe mit 880 Grm. Bohnensamen durchgeführte Versuchsreihe lieferte die folgenden Resultate:

Zeit		Wasserstand.	Zeit		Wasserstand.
Stunden.	Minuten.	Ccm.	Stunden.	Minuten.	Ccm.
0	0	0	1	15	— 9.80
0	10	+ 8.70	1	22	— 10.80
0	15	+ 5.70	1	25	— 11.30
0	20	+ 2.50	1	30	— 11.70
0	30	+ 0.10	1	35	— 12.00
0	35	— 0.80	1	40	— 12.80
0	40	— 2.20	2	0	— 13.30
0	45	— 2.80	2	15	— 13.30
0	50	— 4.10	2	20	— 13.30
0	55	— 5.70	2	25	— 13.25
1	0	— 6.70	2	30	— 13.15
1	5	— 7.80	2	35	— 13.15
1	10	— 8.80	2	40	— 13.10 [1]

Sechstes Capitel.

Der Einfluss der Natur sowie der Temperatur des Quellungsmediums auf den Quellungsprocess.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass organisirte vegetabilische Gebilde in Berührung mit Säuren und Alkalien im Allgemeinen lebhafter als in Berührung mit Wasser aufquellen. Hingegen hat sich ergeben, dass der Quellungsprocess weniger energisch verläuft, wenn statt des Wassers eine Lösung von neutralen Salzen in Anwendung gebracht wird. So fand Liebig, dass 100 Gewthl. trockener Ochsenharnblase 310 Gewthl. Wasser, aber nur 288 Gewthl. 9procentiger Kochsalzlösung aufnehmen [2].

Ferner haben Ludwig einerseits, sowie Cloetta andererseits bei ihren Beobachtungen über den Imbibitionsprocess feststellen können, dass imbibitionsfähige Körper in Berührung mit

1) Von einer weiteren Mittheilung der Ergebnisse, welche Nobbe bei der Ausführung seiner Untersuchungen erhielt, sehen wir hier ab.

2) Vergl. Ficks medicinische Physik. 2. Auflage. 1866. S. 33.

einer Salzlösung stets verhältnissmässig mehr Wasser als Salz aufnehmen [1]). Presst man indessen von der imbibirten Lösung wieder etwas heraus, so erhält man eine Lösung von der Dichtigkeit der ursprünglich angewandten.

Einige von Ludwig unter Benutzung von Kochsalzlösungen über den Einfluss der Concentration der Imbibitionsflüssigkeit auf die Zusammensetzung der imbibirten Lösung angestellte Versuche führten zumal zu den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Resultaten:

Procentgehalt der ursprünglichen Lösung.	Procentgehalt der im gequollenen Körper enthaltenen Lösung.	Versuchsdauer in Stunden.
24.002	20.022	76
24.288	20.427	78
6.005	4.679	48
5.540	4.545	76
5.493	4.512	76

Nach dem Gesagten ist es a priori als gewiss anzusehen, dass Samen, die sich mit reinem Wasser in Berührung befinden, grössere Flüssigkeitsmengen absorbiren müssen als andere, die in einer Salzlösung verweilen. Ich habe zu näherer Prüfung der Verhältnisse die folgenden Experimente angestellt [2]):

I. 10 Erbsen gelangten in 100 Cc. destillirten Wassers;

II. 10 Samen gelangten in 100 Cc. einer 1procentigen Chlornatriumlösung;

III. 10 Samen gelangten in 100 Cc. einer 2procentigen Chlornatriumlösung.

Die Erbsen verweilten 24 Stunden lang bei einer Temperatur von 13—14° C. in den Flüssigkeiten. Die Untersuchungsobjecte waren vor Beginn der Beobachtungen gewogen worden; nach Verlauf der angegebenen Zeit wurden die sorgsam mit Fliesspapier abgetrockneten Erbsen abermals gewogen.

	Gewicht der lufttrockenen Samen.	Gewicht der gequollenen Samen.
I.	4.768 Grm.	9.056 Grm.
II.	4.783 „	8.764 „
III.	4.808 „	8.654 „

1) Vergl. ebendaselbst sowie Pfeffers osmotische Untersuchungen. 1877. S. 40.

2) Vergl. Detmer, Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. B. 2. H. 1.

Bei Anwendung verdünnter Lösungen von salpetersaurem Kali erhielt ich ganz ähnliche Resultate wie bei der Ausführung der soeben erwähnten Beobachtungen. Gelangten Erbsen mit völlig concentrirten Kalisalpeterlösungen in Berührung, so schritt der Quellungsprocess nur sehr langsam fort, und die Untersuchungsobjecte besassen in Folge dessen selbst nach längerer Zeit einen beträchtlichen Grad von Härte.

Ebenso lässt sich auch die Thatsache, dass imbibitionsfähige Gebilde, die sich mit einer Salzlösung in Contact befinden, dieser letzteren relativ mehr Wasser als Salz entziehen, leicht unter Benutzung von Samen demonstriren. Man braucht zu diesem Zwecke nur, wie es Reinke[1]) kürzlich gethan hat, z. B. Erbsen in eine concentrirte Glaubersalzlösung zu bringen. Nach Verlauf einiger Zeit beginnen sich grosse Glaubersalzkrystalle abzuscheiden, und da dies selbst bei constant bleibender Temperatur geschieht, so führt das Ergebniss des erwähnten Experiments zu dem Schluss, dass die Samen der Glaubersalzlösung bei der Quellung relativ mehr Wasser als Salz entzogen haben müssen[2]).

Die Ursachen, welche den hier berührten Erscheinungen zu Grunde liegen, sind nicht schwer zu ermitteln. Zunächst haben wir gesehen, dass imbibitionsfähige Gebilde grössere Mengen reinen Wassers als Salzlösungen aufzunehmen vermögen. Wir müssen von der Voraussetzung ausgehen, dass die imbibitionsfähigen Körper auf die Flüssigkeitstheilchen, mit denen sie in Berührung gelangen, eine gewisse Attraction geltend machen, und dass die quellenden Substanzen die Wassermoleküle lebhafter als die Moleküle der neutralen Salze anziehen. Ferner ist es gewiss, dass die Theilchen einer Flüssigkeit einander anziehen, und dass die Cohäsion zwischen zwei Wassermolekülen geringer ist als diejenige, welche zwischen einem Wasser- und einem Salzmolekül besteht. Der Widerstand, den die Theilchen einer Salzlösung der von Seiten eines quellenden Körpers auf sie geltend gemachten Anziehung entgegenstellen, ist demnach grösser als derjenige, welchen Wassertheilchen allein unter denselben Verhältnissen zu leisten vermögen. Unter Berücksichtigung des Gesagten ergiebt sich nun von selbst, dass ein imbibitionsfähiges Gebilde in Berührung mit einer Salzlösung langsamer als in Contact mit reinem Wasser aufquellen wird, und dass das Quellungsmaximum für die Quel-

1) Vergl. Reinke, Hansteins botan. Abhandlungen. B. 4. H. 1. S. 93.

2) Aus Glaubersalzlösungen, die nicht mit Erbsen in Berührung gebracht worden waren, schieden sich keine Krystalle ab.

lung in einer Salzlösung niedriger liegen muss als für die Quellung in reinem Wasser.

Mit den hier berührten Verhältnissen hängt nun ferner die Thatsache auf das Innigste zusammen, dass quellende Körper einer Salzlösung relativ mehr Wasser als Salz entziehen, und nach dem Gesagten bedarf es keiner weiteren Auseinandersetzungen über diesen Punkt[1]).

Mit Rücksicht auf diejenigen Verhältnisse, welche sich auf die Abhängigkeit des Quellungsprocesses der Samen von der Temperatur beziehen, möchte ich hier zunächst auf die Resultate einer Arbeit von Dimitrievicz hinweisen[2]), Derselbe bestimmte das Volumen sowie das Gewicht seiner Untersuchungsobjecte, nachdem dieselben sich längere Zeit mit Wasser von verschiedenen Temperaturen in Berührung befunden hatten. Eine unter Benutzung von Kichererbsen durchgeführte Versuchsreihe lieferte z. B. die folgenden Ergebnisse:

Temperat. in ° C.	Dauer der Quellung in Stunden.							
	6.		12.		24.		48.	
	Volumen-Zunahme in %.	Gewichts-Zunahme in %.	Volumen-Zunahme in %.	Gewichts-Zunahme in %.	Volumen-Zunahme in %.	Gewichts-Zunahme in %.	Volumen-Zunahme in %.	Gewichts-Zunahme in %.
0	73.3	60.0	113.3	79.5	133.3	91.6	133.3	101.0
10	93.3	63.5	113.3	82.2	133.3	100.0	133.3	101.0
15	106.6	75.0	133.3	97.5	133.3	101.5	133.3	101.5
35	133.3	97.5	133.3	99.0	133.3	101.5	133.3	101.5

Die Resultate dieser und fernerer Beobachtungen Dimitrievicz lassen die folgenden Schlussfolgerungen zu:

1. Die Quellungscapacität der Samen ist bei verschiedenen Temperaturen dieselbe, d. h. der Wassergehalt gequollener Samen ist schliesslich derselbe, mag die Quellung bei höherer oder niederer Temperatur erfolgt sein. Ebenso ist das Quellungsmaximum der Samen bei allen Temperaturen schliesslich dasselbe, d. h. die Untersuchungsobjecte erfahren endlich unter allen Umständen dieselbe Volumenzunahme.

2. Bei höherer Temperatur absorbiren die Samen während der ersten Quellungsstadien stets bedeutendere Wassermengen als bei

1) Ueber den Einfluss, den die bei der Quellung der Samen zur Geltung kommenden osmotischen Processe auf die Aufnahme von Salzlösungen ausüben, vergleiche man die betreffende Darstellung des zweiten Hauptabschnittes.

2) Vergl. Dimitrievicz, Haberlandts wissenschl.-praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. B. 1. S. 75.

niederer; das Quellungsmaximum wird in Folge dessen bei höherer Temperatur in kürzerer Zeit als bei niederer Temperatur erreicht.

3. In Contact mit wärmerem Wasser nehmen die Samen während der letzten Quellungsstadien weniger Wasser als in Berührung mit kälterem auf, weil das Quellungsmaximum eben im ersteren Falle in kürzerer Zeit als im letzteren erreicht wird.

Ich habe neuerdings viele Beobachtungen über den Einfluss der Temperatur auf den Quellungsprocess der Samen angestellt [1]). Ich habe namentlich auch die Richtigkeit der unter 2 und 3 ausgesprochenen Behauptungen constatiren können, während dagegen neuerdings namentlich Reinke einige Angaben macht, die zur weiteren Begründung des unter 1 Gesagten geeignet erscheinen [2]).

Zwei Portionen von 15 geschälten Erbsen verweilten bis zur Erreichung des Quellungsmaximums in Wasser von 0° C. Die Volumina der Samen betrugen:

Trocken	$a = 3.8$ Cc.;	$b = 4.0$ Cc.
Gequollen nach 16 Stunden	$a = 7.3$ „ ;	$b = 7.6$ „
„ „ 24 „	$a = 8.1$ „ ;	$b = 8.2$ „
„ „ 40 „	$a = 8.2$ „ ;	$b = 8.5$ „

Eine fernere Volumenzunahme der Samen erfolgte nicht, auch dann nicht, als die Erbsen drei Stunden lang mit Wasser von 30° C. in Berührung gelangten.

Das verschiedenartige Verhalten quellender Samen in Contact mit Wasser von höherer oder niederer Temperatur wird wesentlich dadurch bedingt, dass jene die Quellung bedingenden elementaren Processe unter wechselnden äusseren Einflüssen nicht in derselben Weise zur Geltung kommen. Der Verlauf der osmotischen Vorgänge und der Imbibitionsprocesse wird bekanntlich sehr wesentlich von den Temperaturverhältnissen beeinflusst, und es ist deshalb für uns von Interesse, den Ursachen, welche dies bedingen, etwas näher zu treten.

Was den Imbibitionsprocess anbelangt, so muss derselbe durch höhere Temperaturen in verschiedener Weise beschleunigt werden. Zunächst wird die lebendige Kraft der Tagmen eines imbibitionsfähigen Gebildes durch höhere Temperatur gesteigert und ebenso

---

1) Vergl. Detmer: Beiträge zur Theorie des Wurzeldrucks. Aus Preyer's Sammlung physiologischer Abhandlungen. B. 1. H. 8. S. 38. Vergl. ferner eine Abhandlung von mir in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. B. 2. H. 1.

2) Vergl. Reinke, Hansteins botanische Abhandlungen. B. 4. H. 1. S. 86.

wird die Disgregation der Tagmen erhöht. Ferner ist es bekannt, dass Steigerung der Temperatur die lebendige Kraft sowie die Disgregation der Wassermoleküle erhöht.

In Folge der gesteigerteren Disgregation der Tagmen der organisirten Gebilde bei höherer Temperatur wird die Anziehungskraft, welche dieselben auf einander ausüben, nothwendig verringert. Dies muss unmittelbar eine Beschleunigung im Verlaufe des Imbibitionsprocesses herbeiführen, und das Quellungsmaximum wird daher bei höherer Temperatur schneller als bei niederer erreicht [1]). Etwas verwickelt ist die Frage, weshalb das Quellungsmaximum schliesslich unter allen Umständen dieselbe Höhe besitzt.

Man wird von der Vorstellung ausgehen dürfen, dass die Tagmen, mögen sie bei höherer oder niederer Temperatur mit Wasser in Contact gelangen, stets die nämliche Anziehungskraft auf die Flüssigkeitsmoleküle geltend machen. Damit ist aber noch nicht gesagt, dass sich die Tagmen immer mit Wasserhüllen von gleicher Grösse umgeben müssen. Denkt man sich ein einzelnes Tagma mit Wasser von niederer Temperatur in Berührung gebracht, so wird die Wassermenge, welche das Tagma bindet, abhängig sein von der specifischen Anziehungskraft der Substanz des Tagma den Wassermolekülen gegenüber und der Grösse der lebendigen Kraft dieser letzteren. Bei höherer Temperatur bleibt die Grösse der Anziehung zwischen dem Tagma und den Wassertheilchen an sich dieselbe wie bei niederer Temperatur, aber die lebendige Kraft der Wassermoleküle wächst, und aus diesem Grunde werden gewisse Moleküle der Wasserhüllen, diejenigen nämlich, welche in Folge ihrer Lage bei niederer Temperatur von dem Tagma am schwächsten angezogen wurden, jetzt im Stande sein, die Anziehungskräfte zu überwinden. Ganz anders, wenn man es mit einem System von Tagmen, wie die imbibitionsfähigen Gebilde ein solches repräsentiren, zu thun hat.

In diesem Falle können die Tagmen das Maximum ihrer Anziehungskraft für Wassermoleküle, wie sie dies im isolirten Zustande allerdings vermögen, überhaupt gar nicht zur Geltung bringen, weil sie sich unter einander anziehen und sich nur bis zu einem bestimmten Grade von einander entfernen. Das Maximum der Disgregation der Tagmen in Folge der Quellung muss für alle Temperaturen gleich gesetzt werden [2]), und höhere Wär-

---

1) Dieselbe Wirkung wird durch die grössere lebendige Kraft und bedeutendere Disgregation der Wassermoleküle bei höherer Temperatur erzielt.

2) Diese Disgregation der Tagmen in Folge des Quellungsprocesses ist viel be-

megrade beschleunigen nur die Geschwindigkeit, mit der dieser Zustand erreicht wird. Es ist somit klar, dass selbst diejenigen Wassermoleküle, welche in Folge der Quellung in die intertagmatischen Räume gelangen und am weitesten von der Substanz der Tagmen entfernt sind, noch ziemlich energisch von diesen festgehalten werden. Die Anziehungskraft, welche die Tagmen auf Wassertheilchen ausüben, ist so bedeutend, dass die Steigerung der lebendigen Kraft dieser letzteren in Folge höherer Temperatur (natürlich innerhalb bestimmter Grenzwerthe) keine Ueberwindung jener Anziehungskraft herbeizuführen im Stande ist.

Zur Erklärung der Thatsache, dass Samen, mögen sie bei höherer oder niederer Temperatur, dieselbe Quellungscapicität besitzen, d. h. schliesslich dieselbe Wassermenge aufgenommen haben, ist aber, abgesehen von dem bereits Gesagten, noch hervorzuheben, dass auch die osmotischen Vorgänge schliesslich unter allen Umständen dieselben Wirkungen zur Geltung bringen. Die bei dem Zustandekommen der osmotischen Processe betheiligten Zellbestandtheile werden unter dem Einflusse verschiedener Temperaturen keine wesentlichen Veränderungen erfahren, und aus diesem Grunde sind die endlich erzielten Wirkungen stets gleiche. Allerdings ist es aber unzweifelhaft, dass die osmotischen Kräfte bei höherer Temperatur zu Beginn des Quellungsactes bedeutendere Wasserquantitäten in das Innere der Samen befördern werden, als bei niederer, aber später ist die osmotische Flüssigkeitsaufsaugung dafür bei höherer Temperatur um so weniger ausgiebig[1]).

---

deutender als diejenige, welche die Tagmen im trockenen Zustande der organisirten Gebilde in Folge des Wärmeausdehnungscoëfficienten derselben bei höherer Temperatur erfahren. Daher können wir dies letztere Moment hier ausser Acht lassen.

1) Die Gesammtmenge der in Folge der osmotischen Processe die quellenden Samen verlassenden Stoffe wird ebenso bei höherer und niederer Temperatur dieselbe sein. Die Samen werden aber bei niederer Temperatur noch erhebliche Stoffquantitäten an das Wasser abgeben, wenn dieser Vorgang bei höherer Temperatur bereits fast völlig oder gänzlich zum Stillstande gelangt ist.

Zweiter Hauptabschnitt.

Das Verhalten der Aschenbestandtheile der Samen bei der Keimung.

Erstes Capitel.

Die Aschenbestandtheile der Samen.

Wenn man vegetabilische Organismen oder Theile derselben verbrennt, so werden die organischen Bestandtheile der pflanzlichen Massen vollkommen zerstört. Als unverbrennlichen Rückstand erhält man stets eine gewisse Quantität Asche. Die Mineral- oder Aschenbestandtheile der Gewächse besitzen, wie allgemein bekannt ist, eine ungemeine Bedeutung für das Leben der Pflanzen.

Zu Anfang dieses Jahrhunderts glaubte Schrader[1]) aus den Resultaten gewisser Untersuchungen den Schluss ableiten zu dürfen, dass die Pflanzen im Stande seien, Mineralstoffe in ihrem Organismus durch vitale Kräfte zu erzeugen. Die Ergebnisse der Arbeiten Jablonskis[2]) haben dann wesentlich dazu beigetragen, derartig unrichtige Vorstellungen zu beseitigen; indessen erst im Jahre 1842 wurde durch die classischen Untersuchungen von Wiegmann und Polstorff[3]) der wahre Sachverhalt in aller Schärfe dargethan.

Jedes Gewächs bedarf zur normalen Entwickelung ganz bestimmter Mengen verschiedener Mineralstoffe. Keiner der unentbehrlichen Aschenbestandtheile darf fehlen, wenn die Pflanzen diejenige Ausbildung erlangen sollen, zu der sie vermöge ihrer

---

1) Schrader, Preisschrift über die eigentliche Beschaffenheit und Erzeugung der erdigen Bestandtheile in den verschiedenen inländischen Getreidearten. Vergl. Schulzes Lehrbuch d. Chemie f. Landwirthe. B. 2. S. 6.

2) Jablonski, Dissertatio inauguralis de conditionibus vegetationi necessariis quibusdam. Vgl. Schulzes Lehrbuch d. Chemie f. Landwirthe. B. 2. S. 9.

3) Wiegmann u. Polstorff: Die Bedeutung d. anorganischen Bestandtheile d. Pflanzen. 1842. S. 36.

gesammten Organisation befähigt sind. Die Mineralstoffe in den Pflanzen sind somit nicht als zufällige Bestandtheile derselben anzusehen, vielmehr haben sie ihre ganz bestimmten Functionen zu erfüllen.

Was die Mineralstoffe der Samen anbelangt, so haben dieselben in zweifacher Hinsicht eine Bedeutung. Sie dienen einerseits dazu, die Bildung des Samen überhaupt zu ermöglichen; andererseits besitzen sie ebenfalls eine Bedeutung als Nährstoffe für die Keimpflanzen.

Es handelt sich hier für uns zunächst darum, den Gehalt der Samen an den einzelnen Mineralstoffen festzustellen. Wir werden uns hierbei indessen lediglich auf einige allgemeine Angaben beschränken können.

Nach den sorgfältigen Zusammenstellungen von E. Wolff[1]) gestaltet sich die mittlere procentische Zusammensetzung der Asche verschiedener Körner- und Samenarten wie folgt:

1) Vgl. E. Wolff, Aschenanalysen etc. Berlin, 1871. S. 154.

Bezeichnung d. Körner oder Samen.	Zahl d. Anal.	Rein-asche %[1])	In 100 Theilen d. Reinasche:								
			K_2O.	Na_2O.	CaO.	MgO.	Fe_2O_3.	P_2O_5	SO_3.	SiO_2.	Cl.
Winterweizen	98	1.97	31.16	2.25	3.34	11.97	1.31	46.98	0.37	2.11	0.22
Sommerweizen	14	2.14	29.99	1.93	2.93	12.09	0.51	48.63	1.52	1.64	0.48
Winterroggen	20	2.09	31.47	1.70	2.63	11.54	1.63	49.93	1.10	1.88	0.61
Sommergerste	50	2.60	20.15	2.53	2.60	8.62	0.97	34.68	1.69	27.54	0.93
Hafer	23	3.14	16.38	2.24	3.70	7.06	0.67	23.02	1.36	44.33	0.58
Hirse	3	3.43	11.39	1.30	0.63	9.63	1.08	21.92	0.24	52.97	0.49
Mais	9	1.51	27.93	1.83	2.28	14.98	1.26	45.00	1.30	1.88	1.42
Reis, geschält	5	0.39	21.73	5.50	3.24	11.20	1.23	53.68	0.62	2.74	0.10
Buchweizen	3	1.37	23.07	6.12	4.42	12.42	1.74	48.67	2.11	0.23	1.30
Erbse	29	2.73	41.79	0.96	4.99	7.96	0.86	36.43	3.49	0.86	1.54
Ackerbohne	15	3.57	42.49	1.34	4.73	7.08	0.57	38.74	2.53	0.73	1.57
Wicke	3	3.10	30.14	7.86	8.03	8.95	1.27	37.35	3.69	1.31	2.71
Lupine	3	3.95	29.84	0 37	8.90	11.64	1.13	41.97	4.31	0.42	0.25
Rothklee	4	4.50	35.35	0.96	6.40	12.90	1.70	37.93	2.40	1.30	1.23
Esparsette	1	4.57	28.53	2.74	31.58	6.65	1.59	23.91	3.24	0.82	1.21
Zuckerrübe	3	5.30	24 55	9.19	22.99	16.13	0.37	16.58	4.48	1.81	4.14
Cichorie	3	6.27	11.96	8.40	30.94	10.80	0.88	30.26	4.36	1.00	0.91
Sommerrübsen	1	3.97	22.02	—	14.96	13.43	0.48	42.52	6.60	—	—
Senf	3	4.20	16.15	5.34	19.24	10.51	0.99	39.92	4.92	2.48	0.53
Mohn	1	6.04	13.62	1.03	35.36	9.49	0.43	31.36	1.92	3.24	4.58
Lein	5	3.69	30.63	2.07	8.10	14.29	1.12	41.50	2.34	1.24	0.16
Hanf	2	5.27	20.28	0.78	23.64	5.70	1.00	36.46	0.19	11.90	0.08
Baumwolle	2	3.90	31.90	1.90	8.55	12.40	1.95	36.30	3.65	—	2.65
Kaffeebohne	9	3.19	62.47	1.64	6.29	9.69	0.65	13.29	3.80	0.54	0.91
Eichel	2	2.18	64.14	0.63	6.91	5.29	0.01	14.89	4.17	1.07	1.76
Buche	1	2.54	22.75	9.94	24.44	11.60	2.66	20.74	2.20	1.87	0.52
Kiefer	1	4.16	22.38	1.26	1.86	15 09	3.01	45.96	—	10.44	—
Mandel	1	4.90	27.95	0.23	8.81	17.66	0.55	43.63	0.37	—	—

1) Während die Rohasche Kohlensäure, Kohle und Sandtheilchen enthält, ist die Reinasche frei von diesen Stoffen.

Was die Schwankungen in der procentischen Zusammensetzung der Asche einzelner Körnerarten anbelangt, so geben darüber die nachfolgenden Angaben E. Wolffs[1]) einigen Aufschluss:

Bezeichnung der Körner.		Zahl d. Anal.	Rein-asche	In 100 Thl. d. Reinasche:								
				K_2O.	Na_2O.	CaO.	MgO.	Fe_2O_3.	P_2O_5.	SO_3.	SiO_2.	Cl.
Winterweizen.	Maximum		2.46	36.60	9.07	8.20	16.26	2.99	52.62	2.22	5.91	1.01
	Mittel	98	1.97	31.16	2.25	3.34	11.97	1.31	46.98	0.37	2.11	0.22
	Minimum		1.58	23.18	0.00	0.90	9.10	0.00	39.20	0.00	0.00	0.00
Gerste.	Maximum		3.09	32.20	6.00	4.20	12.47	2.93	42.56	3.50	36.73	5.24
	Mittel	50	2.60	20.15	2.53	2.60	8.62	0.97	34.68	1.69	27.54	0.93
	Minimum		1.90	11.39	0.00	1.21	5.00	0.00	26.01	0.00	17.27	0.00
Erbse.	Maximum		4.27	51.41	3.57	7.90	13.02	3.83	44.41	9.46	3.02	6.50
	Mittel	29	2.73	41.79	0.96	4.99	7.96	0.86	36.43	3.49	0.86	1.54
	Minimum		2.36	35.80	0.00	2.21	5.80	0.00	29.30	0.00	0.00	0.00

Wenn wir die hier mitgetheilten Zahlen, welche uns angeben, wie hoch sich der Aschengehalt der Samen stellt, überblicken, und wenn wir uns daneben vergegenwärtigen, wie hoch sich der Aschengehalt anderer Pflanzentheile, z. B. des Strohs, gestaltet, so gelangen wir zu dem Schlusse, dass die Samen und Körner verhältnissmässig arm an Mineralstoffen sind. Dies tritt recht deutlich hervor, wenn wir die folgende kleine Tabelle betrachten, in der unter I. der procentische Aschengehalt verschiedener Körner, unter II. aber der procentische Aschengehalt von Strohsorten zur Mittheilung gelangt[2]).

	I.	II.
Winterweizen	1.97	5.37
Winterroggen	2.09	4.79
Hafer	3.14	4.70
Mais	1.51	4.87
Buchweizen	1.37	6.15
Erbse	2.73	5.13
Rothklee	4.50	5.28
Lein	3.69	3.53

1) Vgl. E. Wolff, Aschenanalysen etc. Berlin, 1871. S. 159.
2) Wir haben es hier wieder mit Durchschnittszahlen zu thun.

Was die Zusammensetzung der Asche der Samen und Körner anbetrifft, so ist insbesondere darauf hinzuweisen, dass dieselbe procentisch reicher an Phosphorsäure und Magnesia als diejenige des Strohs ist, und dass sie ferner meist einen höheren Gehalt an Kali als die letztere aufweist. Dagegen enthält die Asche des Strohs mehr Kalk, Schwefelsäure, Chlor und vor allen Dingen mehr Kieselsäure als die Asche der Samen und Körner. Wenn man den Gehalt der Körner- und Strohtrockensubstanz an den einzelnen Mineralstoffen ins Auge fasst, so ergiebt sich im Allgemeinen, dass die erstere reich an Phosphorsäure und Magnesia, die letztere aber reich an Kalk, Kieselsäure etc. ist.

Die Untersuchung der Asche der Samen und Körner giebt uns, wie hier betont werden muss, nicht immer einen Massstab zur Beurtheilung der Form, in der sich die Aschenbestandtheile in den vegetabilischen Gebilden vorfinden.

Die Schwefelsäure, die wir in der Pflanzenasche vorfinden, ist im vegetabilischen Organimus nur zum Theil als solche vorhanden. Eine gewisse Menge derselben entsteht erst bei der Darstellung der Aschen durch Oxydation des Schwefels, der in organischen Verbindungen in der Pflanze angetroffen wird. Bekanntlich enthalten die Proteinstoffe 1—2 % Schwefel. Ferner findet man z. B. in den schwarzen Senfsamen eine schwefelhaltige Verbindung, das myronsaure Kali, welches beim Benetzen der Samen mit Wasser durch Vermittelung eines Ferments, des Myrosins, unter Bildung von Senföl zersetzt wird. Der hier berührte Zersetzungsprocess geht nach der folgenden Formelgleichung vor sich:

Myrons. Kali. Allylsulfocyanid. Traubenzucker. Zweifachschwefels. Kali.

$$C_{10}H_{18}KNS_2O_{10} = C_4H_5NS + C_6H_{12}O_6 + KHO.\ SO_3$$ [1]).

Will man den in Pflanzentheilen in organischer Substanz vorhandenen Schwefel bestimmen, so kann man dabei zweckmässig in der Weise, wie Arendt dies angiebt, verfahren [2]). Man behandelt die zu untersuchende Substanz zunächst einmal oder wenn nöthig mehrfach mit Salpetersäure, dampft sie fast zur Trockne ein, setzt kohlensaures Natron zu der Masse, trocknet und zerreibt dieselbe, um sie nun schwach zu erhitzen. Die Salzmasse wird mit Chlorwasserstoffsäure behandelt. Man scheidet die Kieselsäure ab und bestimmt die Schwefelsäure mit Hülfe von Baryt. Wenn man die vegetabilische Substanz ferner zur Bestimmung der als

1) Gleichzeitig wird etwas Schwefel abgeschieden, indem geringe Mengen von Allylcyanid sich bilden.

2) Vgl. Arendt: Das Wachsthum d. Haferpflanze. Leipzig, 1859. S. 29.

solcher vorhandenen Schwefelsäure in geeigneten Apparaten mit salpetersäurehaltigem Wasser behandelt und in der gewonnenen Lösung die Schwefelsäure bestimmt, so ist es leicht, den Gehalt der organischen Massen an Schwefel zu berechnen.

Kommt es darauf an, den Gehalt von Pflanzentheilen an Schwefel und Schwefelsäure genau zu bestimmen, so ist es nothwendig, die hier kurz charakterisirte oder eine ähnliche Methode bei der Ausführung der Untersuchungen in Anwendung zu bringen. Ganz insbesondere ist dies aber erforderlich, wenn man es mit sehr phosphorsäurereichen Pflanzentheilen zu thun hat, denn die Phosphorsäure ist unter gewissen Umständen befähigt, die Schwefelsäure beim Einäschern der Pflanzentheile auszutreiben. Früher hat man wenig Gewicht auf dies Verhältniss gelegt, und aus dem Grunde haben die Analytiker, wie die folgenden Angaben Arendts[1]) zeigen, nur relativ geringe Schwefelsäurequantitäten in Früchten und Samen nachweisen können.

Die reifen Haferkörner enthalten nach

Fr. Schulze	0 %	Schwefelsäure
Boussingault	1.0 „	„
Knop und Schnedermann	1.1 „	„
Salm Horstmar	1.70 „	„
Norton	0 „	„
Arendt	4.96 „	„

Dass Erbsensamen Schwefelsäure oder vielmehr schwefelsaure Salze enthalten, geht aus gewissen Beobachtungen Knops[2]) hervor, welcher fand, dass quellende Samen von Pisum sativum an das Wasser geringe Schwefelsäurequantitäten abzugeben vermögen. Kellner[3]) hat neuerdings ebenfalls nachgewiesen, dass Erbsen Schwefelsäure enthalten, und wir werden auf diese Untersuchungen weiter unten zurückkommen.

Man hat häufig die Meinung geäussert, dass wie der Schwefel ein Bestandtheil der Proteinstoffe ist, dasselbe von dem Phosphor angenommen werden müsse.

Ritthausen[4]) zeigte aber, dass Legumin weder Phosphor noch phosphorige Säure enthält, und zwar gelang ihm dieser Nach-

---

1) Vgl. Arendt: Das Wachsthum der Haferpflanze. Leipzig, 1859. S. 33.

2) Vgl. Knop, Kreislauf d. Stoffs. B. 2. S. 204.

3) Vgl. Kellner, Versuchsstationen. B. 17. S. 414.

4) Vgl. Ritthausen, Journal f. prakt. Chm. B. 13. S. 112 und ferner Ritthausens Werk: Die Eiweisskörper d. Getreidearten u. s. w. Bonn, 1872. S. 205.

weis unter Anwendung der Dussard'schen Methode zur Nachweisung geringer Mengen von Phosphor oder phosphoriger Säure [1]).

Einige organische Verbindungen existiren aber in Samen, die Phosphor als solchen enthalten. Knop [2]) wies vor längerer Zeit in den Zuckererbsen ein phosphorhaltiges Oel nach. Die Samen enthielten 2.56 % dieses Oeles. Dasselbe war frei von Schwefel und Stickstoff und zeigte die folgende Zusammensetzung:

	I.	II.
C	66.85	66.90 %
H	9.52	9.54 "
O	22.38	22.31 "
P	1.25	1.25 "
	100.00	100.00

Sachsse [3]) fand in dem durch Aether aus Erbsen extrahirten Fett in einem Falle 1.40, in einem zweiten 1.41 % Phosphor. Stein hat in dem fetten Oel der Gerste Phosphor nachgewiesen. Töpler [4]) macht die folgenden Angaben über den Phosphorgehalt der fetten Oele verschiedener Samen:

Gelbe Lupine	0.29 %	P.
Mai-Erbsen	1.17 "	"
Pferdebohne	0.72 "	"
St. Helena-Weizen	0.28 "	"
Roggen	0.31 "	"

Das Oel aus Cacaobohnen, Oliven, Hirse, blauem Mohn, Lein, Raps, Hanf und weissem Senf soll phosphorfrei sein, Kürbisöl enthält dagegen nach Peters Phosphor.

Was die Phosphorsäure der Samen anbelangt, so findet sich ein Theil derselben mit Basen verbunden in den vegetabilischen Gebilden vor. Ein weiterer Theil der Phosphorsäure soll aber nach Ritthausen [5]) mit Proteinstoffen verbunden in den Samen vorkommen. Die aus verschiedenen Samen dargestellten stickstoffhaltigen Verbindungen zeigen nämlich stets einen Gehalt an Phosphorsäure, und wenn man sie durch wiederholtes Auflösen in Kaliwasser und Fällen zu reinigen versucht, so wird zwar ein Theil der Phosphorsäure in Lösung übergeführt, indessen ein erheblicher Antheil bleibt mit den Proteinstoffen verbunden. Auf Grund dieser

1) Vgl. über diese Methode die Zeitschrift f. analytische Chemie v. Fresenius. B. 1. S. 128.

2) Vgl. Knop, Chem. Centralblatt. 1858. S. 759.

3) Vgl. Sachsse: Ueber einige chemische Vorgänge bei d. Keimung v. Pisum sativum. Leipzig, 1872, S. 27.

4) Vgl. Nobbes Handbuch d. Samenkunde. 1876. S. 149.

5) Vgl. Ritthausen: Die Eiweisskörper etc. S. 203.

und weiterer Beobachtungen spricht sich Ritthausen nun in seinem citirten Buche wie folgt über die Beziehungen der Phosphorsäure zum Pflanzencasein aus [1]):

„Man kann demnach über die Bedeutung der Phosphorsäure in den verschiedenen Formen des Pflanzencaseins kaum zweifelhaft und die Annahme kaum zu vertheidigen im Stande sein, dass sie während des Actes der Fällung einfach als Aschenbestandtheil mit niedergeschlagen werde. Alle die angegebenen Erscheinungen weisen ziemlich bestimmt darauf hin, dass die Phosphorsäure einen wesentlichen Bestandtheil des Pflanzencaseins bilde und die verschiedenen Formen des letzteren insgesammt Phosphorsäureverbindungen seien. Die allmähliche Abscheidung der Phosphorsäure aus dem Casein würde demnach einer Zersetzung gleich zu achten sein“.

Weitere Belege zur Begründung der Anschauung, dass die Phosphorsäure zu den Proteinstoffen in einer gewissen Beziehung steht, sind durch die Resultate einiger Untersuchungen beigebracht worden, aus denen sich ergiebt, dass Phosphorsäure und Stickstoff sich in verschiedenen Samen in einem bestimmten Verhältnisse zu einander vorfinden. W. Mayer [2]) theilt in dieser Hinsicht z. B. die folgenden Angaben mit:

Auf 1.00 Thl. Phosphorsäure waren enthalten

im Sommerroggen	Nr.	32	2.34	Thl. Stickstoff
„ Winterroggen	„	25	2.04	„ „
„ „	„	22	2.27	„ „
„ „	„	29	2.15	„ „
„ Winterweizen	„	1	1.99	„ „
„ „	„	3	1.99	„ „
„ „	„	2	1.97	„ „

Auf 1.00 Thl. Phosphorsäure waren enthalten

im Hafer	Nr.	26	1.86	Thl. Stickstoff
„ „	„	46	2.03	„ „
„ „	„	39	2.13	„ „
in zweizeiliger Gerste	„	7	1.87	„ „
„ „ „	„	41	1.81	„ „
„ „ „	„	8	1.81	„ „ [3])

1) Vgl. Ritthausen: Die Eiweisskörper etc. S. 204.

2) Vgl. Mayer, Annl. d. Chemie u. Pharm. B. 101. S. 152.

3) Unter Berücksichtigung dieser und noch vieler anderer Zahlen theilt Mayer hinsichtlich der relativen Verhältnisse zwischen Phosphorsäure und Stickstoff in verschiedenen Getreidearten die folgenden Angaben, welche Mittelwerthe repräsentiren, mit:

Da bisher nicht festgestellt worden war, ob bei sehr stickstoffreichen Samen das soeben angegebene Verhältniss zwischen Stickstoff und Phosphorsäure bestehen bleibt, so hat W. Dittmar im Laboratorium zu Poppelsdorf versucht, darüber Aufschluss zu erlangen. Zur Untersuchung gelangten Weizenkörner, und es sind die Resultate der Beobachtungen in folgender Tabelle zusammengestellt[1]:

Nr. des Weizens.	P_2O_5 in 100 Thl.	N in 100 Thl.	Verhältniss v. P_2O_5 = 1 : N.
5	1.23	3.20	1:2.60
7	1.52	3.63	1:2.38
8	1.18	3.25	1:2.75
9	1.27	3.17	1:2.49
10	1.30	3.44	1:2.64
13	1.22	3.11	1:2.54
15	1.16	3.11	1:2.68
		Im Mittel	1:2.58

Ritthausen und R. Pott[2]) fanden das Verhältniss zwischen Phosphorsäure und Stickstoff in sehr stickstoffreichen Weizensorten später = 1 : 2.8 — 1 : 3.3[3]).

Wenn wir diese Angaben überblicken und ferner in Betracht ziehen, dass sich das Verhältniss zwischen Phosphorsäure und Stickstoff in den einzelnen Geweben der Samen sehr verschiedenartig gestaltet[4]), so müssen wir zu dem Ergebnisse gelangen, dass die von W. Mayer gezogene und von uns oben zur Kenntniss gebrachte Schlussfolgerung nicht durchaus den Thatsachen entspricht. Trotzdem aber müssen wir daran festhalten, dass die Phosphorsäure zu den Eiweisskörpern im Organismus in ganz bestimmter Bezie-

---

Roggen	enthält auf	1.00	Thl. P_2O_5	2.21	Thl. N.
Weizen	,, ,,	1.00	,, ,,	2.04	,, ,,
Gerste	,, ,,	1.00	,, ,,	1.93	,, ,,
Hafer	,, ,,	1.00	,, ,,	2.02	,, ,,

Mayer schliesst aus seinen Untersuchungen, dass zwischen den Eiweissstoffen und der Phosphorsäure der Samen ein ganz bestimmtes Verhältniss besteht, so zwar, dass mit der Zunahme der Eiweissstoffe eine entsprechende Zunahme der Phosphorsäure stattfindet.

1) Vgl. Ritthausen: Die Eiweisskörper etc. S. 78.

2) Vgl. Ritthausen und Pott, Versuchsstationen. B. 16, S. 398.

3) In Leguminosensamen ist das Verhältniss zwischen P_2O_5 und N = 1 : 4.0 — 1 : 6.0.

4) Im feinen Weizenmehl ist nach Mayer das Verhältniss zwischen P_2O_5 und N = 1 : 10.05; in der Weizenkleie dagegen = 1 : 1.53. Vgl. Annl. d. Chem. u. Pharm. B. 101, S. 153.

hung steht. Deutet doch schon der Umstand, dass die Samen und Körner reich an Phosphorsäure und gleichzeitig reich an Proteinstoffen sind, hierauf hin. Der Fürst zu Salm-Horstmar[1]) betont weiter, dass ohne die Gegenwart der Phosphorsäure bei verschiedenen Kulturpflanzen die Körnerbildung unterbleibt. Arendt[2]) hat durch seine bahnbrechenden Untersuchungen über die Vegetation der Haferpflanze bewiesen, dass bei der Fruchtbildung eine Wanderung der Phosphorsäure in der Pflanze eintritt, derartig nämlich, dass die Aehren fortdauernd relativ und absolut reicher an Phosphorsäure werden. Kraus[3]) giebt an, dass sommerdürre Blätter reich an Proteinstoffen und Phosphorsäure sind, während beide Stoffe gemeinsam die im Herbst absterbenden Blätter verlassen. Der Gehalt sommerdürrer und herbstlicher Blätter von Syringa an Stickstoff und Phosphorsäure stellte sich wie folgt:

	Sommerdürre Blätter	Herbstliche Blätter
N	1.947	1.370 °/₀ d. Trksb.
P_2O_5	0.522	0.373 „ „ „

Bedenken wir endlich noch, dass ebenfalls im Thierkörper das Vorhandensein grösserer Proteinstoffmengen mit demjenigen grösserer Phosphorsäurequantitäten Hand in Hand geht[4]), so gelangen wir, wie gesagt, unbedingt zu dem Schluss, dass Eiweisskörper und Phosphorsäure Substanzen sind, welche in den genauesten Beziehungen zu einander stehen. Diesen Satz dürfen wir festhalten, trotzdem man in verschiedenen Samensorten nicht immer denselben constanten Verhältnissen zwischen Phosphorsäure und Stickstoff begegnet, denn alles deutet darauf hin, dass die Phosphorsäure für Entstehung oder Wanderung der Proteinstoffe in der Pflanze von Bedeutung ist[5]).

Wie bereits bemerkt wurde, enthalten die Aschen der Samen beträchtliche Kaliquantitäten. Ein Theil des Kalis ist aber, wie angenommen werden muss, in den Samen nicht in Verbindung mit

---

1) Vgl. Salm-Horstmar, Versuche und Resultate über d. Nahrung d. Pflanzen. Braunschweig 1856.

2) Vgl. Arendt, Haferpflanze. S. 194.

3) Vgl. Kraus, Botanische Zeitung. 1873. Nr. 26 u. 27.

4) Vgl. hierüber z. B. Stohmann's Notiz i. d. Versuchsstationen. B. 16, S. 224.

5) Manche Thatsachen, welche wir hier mitgetheilt haben, zumal diese, dass das Verhältniss zwischen P_2O_5 und N im Weizenmehl und der Weizenkleie ein so sehr verschiedenartiges ist, scheinen mehr zu Ungunsten als zu Gunsten der Ansicht Ritthausens zu sprechen, dass die Phosphorsäure im Samen in Verbindung mit Proteinstoffen vorkommt.

Mineralsäuren, sondern in Verbindung mit organischen Stoffen vorhanden.

Viele Samen geben in gepulvertem Zustande bedeutende Legumin- oder Conglutinquantitäten an Wasser ab, und da die genannten Proteinstoffe fast völlig oder gänzlich unlöslich in Wasser sind, sich aber sehr leicht in Verbindung mit Kali oder Natron in Wasser auflösen, so sprach schon Ritthausen die Ansicht aus, dass die Löslichkeit der genannten Proteinstoffe beim Uebergiessen von Samenpulver mit Wasser, wenigstens zum Theil durch Kali bedingt würde. Wir wollen an einer anderen Stelle den speciellen Nachweis liefern, dass in der That eine gewisse Kalimenge in Verbindung mit Proteinstoffen in den Samen vorhanden sein muss; hier theilen wir nur einige Zahlen mit, welche zeigen, dass wirklich Relationen zwischen dem Proteinstoff- und dem Kaligehalt wässeriger Samenextracte existiren. Ritthausen[1]) fand, dass die wässerigen Extracte von je 100 Grm. lufttrockener Samen enthielten:

	Kali	Legumin
Linsen	0.501 %	5.2 %
Felderbsen	0.753 „	8.3 „
Wicken	0.983 „	10.2 „
Bohnen	1.601 „	11.2 „

Uebrigens ist es ebenfalls sehr wohl möglich, dass eine gewisse Kalimenge in Samen in Verbindung mit Amylum vorhanden ist. Dies ist aus verschiedenen Gründen, namentlich auch deshalb wahrscheinlich, weil es Tollens[2]) in der That gelungen ist, eine chemische Verbindung von Stärke und Kali künstlich darzustellen.

Zweites Capitel.

Das Verhalten der Aschenbestandtheile bei der Quellung der Samen.

Wenn es sich nunmehr darum handelt, das Verhalten der Mineralstoffe der Samen bei dem Keimungsprocesse selbst näher zu beleuchten, so ist in erster Linie darauf hinzuweisen, dass aus den Samen beim Quellungsacte gewisse Mineralstoffmengen austreten. Um hierüber Anhaltspunkte zu gewinnen, hat Zöhl[3])

1) Vgl. Ritthausen, Die Eiweisskörper. S. 208.

2) Vgl. Tollens, Journal f. Landwirthschaft. 21. Jahrgang, S. 375.

3) Vgl. Zöhl, Wissenschaftlich-praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. Herausgegeben v. Haberlandt. Wien 1875. S. 95.

kürzlich einige Untersuchungen angestellt. Mais- und Gerstenkörner wurden in einem besonderen Apparat gewisse Zeit lang strömendem Wasser ausgesetzt, und zwar wurde dabei einerseits Wasser von 7, andererseits Wasser von 18—19 ° C. benutzt. Die Untersuchungsobjecte verloren an Trockensubstanz die folgenden Mengen:

	Mais	Gerste
Im kalten Wasser nach 5 Tagen	4.34	3.26 %
„ warmen „ „ 5 „	5.45	4.52 „
„ kalten „ „ 30 „	26.04	19.44 „
„ warmen „ „ 30 „	33.70	27.12 „

Was den Verlust an Mineralstoffen anbelangt, so geben die folgenden Angaben darüber Auskunft [1]).

	Mais			Gerste		
	Die lufttrk. Früchte enthielten %	Ausgelaugt		Die lufttrk. Früchte enthielten %	Ausgelaugt	
		% der lufttrk. Subst. [2])	% berechnet auf d. ursprüngl. lufttrk. Subst.		% der lufttrk. Subst.	% berechnet auf d. ursprüngl. lufttrk. Subst.
Reinasche	1.19	0.57	0.40	1.88	1.00	0.74
Kieselsäure	0.03	0.02	0.014	0.74	0.93	0.69
Phosphorsäure	0.57	0.31	0.22	0.92	0.62	0.46
Kali	0.41	0.05	0.035	0.61	0.07	0.035
Magnesia	0.19	0.1	0.05	0.21	0.14	0.104
Kalk	0.01	0.09	0.063	0.05	0.12	0.089

Wir erkennen aus diesen Angaben, dass Kali, Phosphorsäure und Magnesia den Samen in bedeutender Menge entzogen wurden. Wenn der Kalkgehalt der Samen wuchs, so dürfte sich dies aus dem Umstande erklären, dass dieselben aus dem Wasser, welches

1) Die Resultate dieser Untersuchungen besitzen übrigens nur einen sehr bedingten Werth, und namentlich ist bei der Beurtheilung derselben nicht zu vergessen, dass die Mineralstoffabgabe seitens der Früchte nicht ausschliesslich in Folge osmotischer Processe stattfand, sondern dass sich ferner, zumal bei den längere Zeit hindurch fortgeführten Beobachtungen, eine Zerstörung organischer Substanz der Untersuchungsobjecte und eine damit Hand in Hand gehende Abscheidung von Mineralstoffen geltend machen musste.

2) Die Zahlen in dieser und der entsprechenden Columne bei der Gerste geben an, wie viel Procent Reinasche etc. die der Quellung lange Zeit ausgesetzt gewesenen Körner noch enthielten.

bei den Auslaugungsversuchen zur Anwendung kam, die Basis aufnahmen.

Der Mais wurde verhältnissmässig stärker als die Gerste ausgelaugt, wohl in Folge des Vorhandenseins der dicken Spelzenhüllen beim Gerstenkorn. Auf alle Fälle erkennen wir aus den Resultaten der Untersuchungen Zöhl's, dass die Samen, wenn diese z. B. lange Zeit bei kalter und nasser Witterung im Boden liegen, so dass sie nicht keimen können, bedeutende Mengen der gerade für die Entwickelung der jungen Pflanze so wichtigen und in der Natur nur in beschränkten Quantitäten zur Verfügung stehenden Mineralstoffe verlieren müssen.

Es darf aber auf der anderen Seite nicht übersehen werden, dass die Samen im Stande sind, aus Salzlösungen, wie solche ja im Boden ebenfalls circuliren, Stoffe aufzunehmen. Knop[1]) hat in Gemeinschaft mit Lehmann, Sachsse, Schreber und W. Wolf auf der Versuchsstation zu Möckern eingehende Untersuchungen über die Salzaufnahme quellender Erbsensamen ausgeführt, welche hier ins Besondere auch deshalb besprochen werden müssen, weil die Resultate der Arbeiten ein weitergehendes theoretisches Interesse für sich in Anspruch nehmen[2]).

Die Experimentatoren bereiteten sich von jedem einzelnen Salze, welches hinsichtlich seines Verhaltens zu den Samen studirt werden sollte, reine Lösungen, von denen

Lösung	Nr. 1	in 1000	Gewth.	destillirten Wassers	5.0	Gewth.	Salz,
„	„ 2[3])	„ 1000	„	„ „	2.5	„	„
„	„ 3	„ 1000	„	„ „	1.0	„	„
„	„ 4	„ 1000	„	„ „	0.5	„	„

enthielt.

Bei der Ausführung der Untersuchungen wurden 50 Grm. Erbsen mit 100 Grm. der Lösungen 1, 2, 3 und 100 Grm. Samen mit 200 Grm. der Lösung Nr. 4 behandelt. Bei Lösung Nr. 4 bedurfte man das doppelte Quantum an Material, weil dieselbe so

1) Wir entnehmen die nachstehenden Angaben den umfänglichen Zusammenstellungen in Knop's Kreislauf des Stoffs. B. 2. S. 200 etc.

2) Der genannte Forscher theilt ebenfalls Einiges über die Stoffquantitäten mit, welche Erbsensamen bei der Quellung abgeben. Die bezüglichen Notizen werden wir berücksichtigen.

3) Die Lösungen 2, 3 und 4 wurden durch Zusatz entsprechender Wassermengen zu Lösung Nr. 1 dargestellt.

verdünnt war. Die Samen blieben meistens 2, zuweilen aber auch 3 oder 4 Tage lang mit der Flüssigkeit in Berührung. Die Resultate der Untersuchungen der genannten Forscher haben entschieden Gültigkeit für den lebenden vegetabilischen Organismus, denn die zu den Versuchen benutzten Samen erwiesen sich stets nach Abschluss derselben als keimfähig.

Nach Verlauf der angegebenen Zeiten wurden die Samen aus den Flüssigkeiten genommen, abgetrocknet und gewogen. Es wurde auf diesem Wege in Erfahrung gebracht, wie viel Lösung in die Samen eingetreten war. 50 Grm. Samen nahmen nicht mehr als 50 Grm. Flüssigkeit und nicht weniger als 42 Grm., meistens 45—49 Grm. Flüssigkeit auf. Endlich erfolgte noch die Untersuchung der nicht von den Erbsen aufgenommenen Flüssigkeit; es konnten dann leicht die Mengen der verschiedenen von den Samen aufgenommenen Stoffe durch Rechnung ermittelt werden.

Wenn wir auf die Beobachtungen der genannten Forscher etwas genauer eingehen, so ist darauf hinzuweisen, dass dieselben, um ein klares Urtheil über das Verhalten quellender Samen zu Salzlösungen zu gewinnen, zunächst einige Untersuchungen über den Austritt von Stoffen aus den in destillirtem Wasser oder Salzlösungen quellenden Samen anstellten. Es zeigte sich, dass die Samen beim Quellen stets gewisse Mineralstoffmengen und überdies organische Substanzen verloren. Bei der Ausführung einer Versuchsreihe wurden z. B. die folgenden Resultate erhalten:

1) (Knop) 50 Grm. Erbsen wurden mit 100 Grm. destillirten Wassers angesetzt; es hinterblieben 52 Grm.

2) (Wolf) 50 Grm. Erbsen, andere Sorte, mit 100 Grm. Wasser angesetzt, hinterliessen 55 Grm. Flüssigkeit.

3) (Wolf) 100 Grm. Erbsen, ältere Samen, ebenso behandelt, liessen 110 Grm. Rückstand, 50 Grm. Samen folglich 55 Grm. Wasser.

4) (Wolf) 100 Grm. Perlmais mit 200 Grm. Wasser angesetzt, hinterliessen 154 Grm. Wasser. 50 Grm. Samen liessen folglich 77 Grm. Wasser.

5) (Wolf) 100 Grm. Baden'scher Mais mit derselben Menge Wasser angesetzt, hinterliessen 160 Grm. Wasser, 50 Grm. Samen liessen folglich 80 Grm. Wasser.

In diesen Rückständen, sämmtlich für 50 Grm. Samen und die entsprechenden Wasserrückstände berechnet, wurden gefunden:

	1. Erbsen	2. Erbsen	3. Erbsen	4. Mais	5. Mais
Chlor	0.0055	0.0169	0.0250	0.0050	0.0043
Schwefelsäure	0.0020	0.0013	0.0005	0.0012	0.0015
Phosphorsäure	0.0010	0.0015	0.0050	0.0269	0.0125
Kalk [1])	0.0012	0.0018	0.0026	0.0000	0.0000
Talkerde	0.0031	0.0022	0.0041	0.0033	0.0026
Kali	0.0402	0.0240	0.0377	0.0382	0.0216
Organisches	0.231	0.1280	0.1000	0.1776	0.0560 [2])

Zumal sind hier aber die Beobachtungen über die Salzaufnahme quellender Samen zu berücksichtigen, und zu den Tabellen, in welchen die Resultate dieser Untersuchungen zusammengestellt sind, ist noch folgendes zu bemerken:

Columne A giebt den Titer der angewandten Salzlösung oder den Salzgehalt von 100 Cc. oder 100 Grm. der Lösungen an, mit welchen jedesmal 50 Grm. Samen übergossen wurden.

„ B giebt die Anzahl Cc. Flüssigkeit an, welche 50 Grm. Samen, die in 100 Cc. ursprünglicher Lösung vollständig quollen, zurückliessen.

„ C die in den zurückgelassenen Cc. Flüssigkeit durch Analyse von Bruchtheilen derselben bestimmten und auf das ganze Volumen des Rückstandes, das fast immer zwischen 50 und 55 Cc. liegt, berechneten Mengen Salz, welche die Samen beim Quellen nicht aufgenommen haben.

„ D die Berechnung der Zahlen der Columne C auf 100 Cc. Flüssigkeit, um den Gehalt der letzteren mit dem der ursprünglichen 100 Cc. Lösung direct vergleichen zu können.

Subtrahirt man die Zahlen der Columne B von 100 Cc., so erhält man das Quantum Flüssigkeit, das beim Quellen der Samen in letztere eintrat.

Subtrahirt man die Zahlen der Columne C von den unter A

1) Wir erkennen hier wieder, was die Untersuchungen Zöhl's ebenfalls zeigen, dass Phosphorsäure und Kali in besonders erheblichen Mengen die quellenden Samen verlassen. Uebrigens sehen wir, was die Ergebnisse der Arbeiten Zöhl's nicht deutlich hervortreten lassen, dass Samen an destillirtes Wasser auch Kalk abgeben können.

2) Wenn die Samen sich nicht mit reinem Wasser, sondern z. B. mit einer Lösung von salpetersaurem Kali in Berührung befanden, so gaben sie beim Quellen annähernd dieselben Stoffmengen an die Flüssigkeit wie in Berührung mit reinem Wasser ab.

in gleicher Horizontale stehenden, so erhält man das Quantum Salz, das in die Samen eindrang.

Bei der Ausführung einer Versuchsreihe befanden sich je 50 Grm. Erbsen mit je 100 Cc. Kalisalpeterlösung in Berührung. Die Lösung Nr. 1 enthielt in 100 Cc. genau 0.5 Grm. KNO_3. Die übrigen Flüssigkeiten waren in angegebener Weise verdünnt worden.

	A	B	C	D
	Grm. K_2O	Cc.	Grm. K_2O	Grm. K_2O
Lösung Nr. 1	0.232	52	0.2121	0.408
„ „ 2	0.116	52	0.1654	0.318
„ „ 3	0.0464	51	0.1208	0.237
„ „ 4	0.0232	52	0.1245	0.239

Die Wiederholung des Versuchs mit einer anderen Erbsensorte lieferte die folgenden Ergebnisse:

	A	B	C	D
	Grm. K_2O	Cc.	Grm. K_2O	Grm. K_2O
Lösung Nr. 1	0.232	55	0.1427	0.260
„ „ 2	0.116	55	0.1039	0.187
„ „ 3	0.0464	53	0.0430	0.081
„ „ 4	0.0232	54	0.0438	0.081

Weiter wurde eine Versuchsreihe unter Benutzung einer Lösung von phosphorsaurem Ammoniak ausgeführt. Dieselbe lieferte die folgenden Ergebnisse:

	A	B	C	D
	Grm. Salz	Cc.	Grm. Salz	Grm. Salz
Lösung Nr. 1	0.4620	56	0.353	0.630
„ „ 2	0.2310	55	0.213	0.387
„ „ 3	0.0924	55	0.092	0.165
„ „ 4	0.0462	55	0.046	0.083

Besondere Beachtung verdient noch der folgende Versuch, der unter Benutzung von Gypslösung ausgeführt worden ist.

Gegeben in 100 Cc.

Lösung 1 { 0.0854 Grm. CaO
0.1221 „ SO_3.

Lösung 2 { 0.0427 Grm. CaO
0.0610 „ SO_3.

Zurückgelassen in

51 Cc. v. Lösung 1 { 0.03009 Grm. CaO
0.08260 „ SO_3.

50 Cc. v. Lösung 2 { 0.0085 Grm. CaO
0.0425 „ SO_3.

Aus diesen Angaben geht hervor, dass die Gypslösung bei ihrem Eintritt in die Samen eine Zersetzung erfahren haben muss. Die Erbsen nahmen relativ viel Kalk, dagegen verhältnissmässig wenig Schwefelsäure auf.

Solche Zersetzungsprocesse scheinen häufig einzutreten, wenn Pflanzentheile mit Salzlösungen in Berührung gelangen. R. Sachsse[1]) beobachtete z. B., dass quellende Erbsen im Stande sind, salpetersaures Ammoniak zu zerlegen. Die Untersuchungen, bei deren Ausführung je 50 Grm. Erbsen mit 100 Cc. Lösung in Berührung gelangten, lieferten die folgenden Ergebnisse:

	Grm.		Grm.	
1. Gegeben in 100 Cc. 0.428 Grm. NH_4NO_3 =	0.0909	NH_3	+ 0.2889	N_2O_5
Zurückgelassen in 53.7 Cc.	0.0246	„	+ 0.1588	„
Aufgenommen mit 46.3 Cc.	0.0663	„	+ 0.1301	„
2. Gegeben in 100 Cc. 0.214 Grm. NH_4NO_3 =	0.0454	„	+ 0.1445	„
Zurückgelassen in 52.4 Cc.	0.0104	„	+ 0.0648	„
Aufgenommen mit 47.6 Cc.	0.0350	„	+ 0.0797	„
3. Gegeben in 100 Cc. 0.107 Grm. NH_4NO_3 =	0.0227	„	+ 0.0722	„
Zurückgelassen in 52.3 Cc.	0.0036	„	+ 0.0258	„
Aufgenommen mit 47.7 Cc.	0.0191	„	+ 0.0464	„ .

Endlich hat Biedermann[2]) das Verhalten quellender Erbsen zu Salzlösungen untersucht. Er wandte die Lösungen verschiedener Chloride bei der Ausführung seiner Beobachtungen an und gelangte zu folgenden allgemeinen Ergebnissen.

Das de Saussure'sche Gesetz, demzufolge Pflanzen Salzlösungen, mit denen sie sich in Berührung befinden, in verdünnterer Form aufnehmen, als diese Lösungen den Organismen dargeboten werden, gilt für die von Biedermann benutzten Chloride und die angewandten Concentrationen im Allgemeinen lediglich für das Chlor. Die Basen zeigen hier und da ein anderes Verhalten. Die Magnesia scheint dem Gesetz allerdings zu folgen; Kalk und Alkalien zeigen dagegen ein umgekehrtes Verhalten.

Gelangen Lösungen von Chloriden mit Samen in Berührung, so erfahren sie in vielen Fällen eine Spaltung. Das Chlorcalcium erleidet augenscheinlich eine Zersetzung, denn die Chlormenge, welche in der Flüssigkeit, in welcher die Samen gequollen haben, zurückbleibt, ist beträchtlich grösser, als unter Berücksichtigung der vorhandenen Kalkmenge vorauszusetzen ist. Chloralkalien (Chlorkalium und Chlornatrium) werden ebenfalls in Berührung mit quellenden Samen zersetzt. Das Chlormagnesium einer Lösung von

1) Vgl. Sachsse, Kreislauf des Stoffs v. Knop. B. 2. S. 216.
2) Vgl. Biedermann, Versuchsstationen. B. 9, S. 312.

5 pro Mille Salzgehalt scheinen quellende Erbsen nicht zersetzen zu können.

In der That führt eine aufmerksame Durchsicht der von Knop, Sachsse und den anderen Forschern bei der Ausführung ihrer Untersuchungen gewonnenen Zahlen zu der Ueberzeugung, dass quellende Samen manche Verbindungen zu zerlegen vermögen. Es ist aber noch keineswegs gelungen, die Substanzen zu ermitteln, welche diese Spaltung herbeiführen [1]). Interessant und specieller Beachtung werth ist übrigens die Thatsache, dass, soweit wir heute orientirt sind, stets die Säure oder das Chlor in relativ geringen, die Basen aber in relativ beträchtlichen Quantitäten von den quellenden Samen aufgenommen werden, wenn überhaupt eine Zerlegung der diesen letzteren dargebotenen Substanzen erfolgt.

Die Resultate, zu denen man bei der Untersuchung derjenigen Verhältnisse, die sich auf die Mineralstoffaufnahme quellender Samen beziehen, gelangt ist, zeigen ferner, dass die Salzlösungen von den Samen nicht in der Concentration, in welcher man sie den Untersuchungsobjecten darbietet, aufgenommen werden. Diese Erscheinung steht zu den sich auf die Mineralstoffaufnahme seitens der Pflanzen überhaupt beziehenden Verhältnissen in so genauer Relation, dass wir nicht umhin können, den letzteren an dieser Stelle wenigstens einige Worte zu widmen.

Die Pflanzen nehmen die Mineralstoffe stets in gelöstem Zustande auf. Die Lösungen finden sich entweder als solche in den Medien vor, in welchen die Pflanzen wurzeln, oder sie werden erst unter Vermittelung der Pflanzenwurzeln selbst gebildet.

Es leuchtet ein, dass, wenn die Pflanze bei der Mineralstoffaufnahme lediglich als ein Saugapparat fungirte, mit den grossen, den Organismus in Folge der Transpiration durchwandernden Wasserquantitäten, allmählich sehr erhebliche Mineralstoffmengen in die Pflanze eintreten und in derselben zur Ablagerung gelangen müssten.

Die sich auf die Mineralstoffaufnahme der Pflanzen beziehenden Verhältnisse gestalten sich nun aber nicht in so einfacher

---

1) Dass derartige Spaltungen durch Vermittelung der Pflanzen überhaupt herbeigeführt werden können, ist durchaus begreiflich, und wird namentlich unserem Verständniss näher gerückt, wenn wir die Resultate gewisser Untersuchungen Emmerlings (vgl. Versuchsstationen, B. 17 S. 173), die den Zweck hatten, das Verhalten der Oxalsäure zu salpetersaurem Kalk und salpetersaurem Kali zu studiren, und ferner verschiedene Bemerkungen Pfeffers (vgl. landwirthschaftl. Jahrbücher B. 5, S. 116) in Berücksichtigung ziehen.

Weise, wie man auf den ersten Blick glauben möchte, und vor allen Dingen ist zu bemerken, dass dieselben in hervorragendem Grade abhängig von dem Verbrauche der Mineralstoffe im Organismus und von osmotischen Erscheinungen sind [1]).

Die einzelnen bei der Beurtheilung der in Rede stehenden Verhältnisse zu berücksichtigenden Momente sind zwar noch bei weitem nicht in genügender Weise gewürdigt worden, aber dennoch hat man wenigstens einige specielle Punkte genauer studirt, und die bezüglichen Untersuchungen besitzen gerade für uns ein besonderes Interesse.

Es war de Saussure [2]), der die ersten experimentellen Untersuchungen über die Salzaufnahme der Pflanzen ausführte. Er operirte mit Polygonum Persicaria und Bidens cannabina. Die Untersuchungsobjecte wurden aus dem Boden, welcher ihnen zum Standorte gedient hatte, herausgenommen, dann so lange in destillirtes Wasser gestellt, bis die Wurzelspitzen sich zu verlängern begannen, und schliesslich mit verschiedenen Salzlösungen in Berührung gebracht. Die Pflanzen verweilten so lange in den Lösungen, bis das Volumen dieser sich auf die Hälfte vermindert hatte. Hätten die Pflanzenwurzeln die Lösungen genau in der Concentration, in welcher dieselben den Untersuchungsobjecten dargeboten wurden, aufgenommen, so würden die Lösungsrückstände nach Abschluss der Versuche genau die Hälfte der ursprünglich den Pflanzen dargebotenen Stoffe enthalten haben müssen. Es zeigte sich indessen, dass die Gewächse statt 50 °/₀ die folgenden Mengen der einzelnen Stoffe aufgenommen hatten:

	Polygonum Persicaria.	Bidens cannabina.
Chlorkalium	14.7 °/₀	16.0 °/₀
Chlornatrium	13.0 „	15.0 „
Chlorammonium	12.0 „	17.0 „
Schwefels. Natron	14.4 „	10.0 „
Salpeters. Kalk	4.0 „	8.0 „
Dammerdeextract	5.0 „	6.0 „

Aus diesen Angaben ist der Schluss zu ziehen, dass die Pflanzenwurzeln die ihnen zur Disposition stehenden Nährstofflösungen nicht als solche absorbiren, sondern dass sie relativ viel Wasser

---

1) Druckverhältnisse in der Pflanze und Transpiration beeinflussen die Salzaufnahme durch die Pflanzenwurzeln allerdings ebenfalls, und ferner möchte ich betonen, dass Imbibitionsvorgänge entschieden in genauester Beziehung zu der Salzaufnahme seitens der Pflanzen stehen.

2) Vgl. de Saussure, Recherches chimiques sur la végét. 1804. p. 247.

und verhältnissmässig wenig Salz aufnehmen. (Saussure'sches Gesetz). Weitere Versuche de Saussure's, bei deren Ausführung er mit Lösungen experimentirte, die nicht einen Körper, sondern gleiche Quantitäten verschiedener Salze enthielten, haben ergeben, dass die Pflanzen die einzelnen ihnen zur Verfügung gestellten Salze nicht in denselben Mengen aufnehmen.

Den Untersuchungen de Saussure's hat man aus Gründen, die für denjenigen, der mit der Geschichte der Pflanzenphysiologie nur einigermassen vertraut ist, auf der Hand liegen, lange Zeit hindurch keine weitere Aufmerksamkeit gewidmet. Erst neuerdings hat W. Wolf die von Saussure betretene Bahn weiter verfolgt, und sehr eingehende Beobachtungen über die Mineralstoffaufnahme der Bohnen- und Maispflanzen vorgenommen [1]). Die Untersuchungsobjecte, mit denen Wolf experimentirte, befanden sich mit ihren Wurzeln in Contact mit einer wässerigen Lösung eines oder mehrerer Salze, und es stellten sich als wichtigste Beobachtungsresultate die folgenden heraus: Werden den Pflanzenwurzeln concentrirtere Salzlösungen dargeboten, so nehmen sie, wie de Saussure bereits gefunden hatte, relativ viel Wasser und wenig Salz auf. Geht man aber unter eine bestimmte, für verschiedene Salzlösungen sehr verschiedene Concentration herab, so kehrt sich das Verhältniss um, und es bleibt eine verdünntere Lösung als die ursprünglich verabreichte zurück. Bietet man einer Pflanze gleichzeitig verschiedene Salze in ein und derselben Lösung dar, so übt die Anwesenheit des einen Salzes häufig einen lebhaften Einfluss auf die Aufnahme des anderen aus.

Weiter hat Knop den hier in Rede stehenden Verhältnissen seine speciellere Aufmerksamkeit zugewandt [2]), und ich will nur erwähnen, dass nach den Resultaten dieser Versuche, bei deren Ausführung die Pflanzenwurzeln sich mit vollständigen Nährstofflösungen in Berührung befanden, vor allen Dingen Kali, Salpetersäure und Phosphorsäure als diejenigen Verbindungen anzusehen sind, welche den Nährstofflösungen von den Gewächsen bis auf die letzten Spuren entzogen werden können, während Kalk und Magnesia andererseits in geringeren Quantitäten in die Pflanzenwurzeln übergehen, so dass die Lösungsrückstände fortschreitend relativ reicher an diesen Stoffen werden [3]).

---

1) Vgl. W. Wolf, Versuchsstationen, B. 6, S. 231 und B. 7, S. 193.

2) Vgl. Knop, Kreislauf des Stoffs, B. 1, S. 655 und B. 2, S. 239.

3) Bei der Beurtheilung der Arbeiten Knops ist nicht zu vergessen, dass die

Die Resultate der Untersuchungen Saussure's, W. Wolfs und Knops lassen nun wohl die folgenden allgemeinen Schlussfolgerungen zu:

1. Aus den Lösungen verschiedener Salze, mögen dieselben auch die gleiche Concentration besitzen, nimmt eine und dieselbe Pflanze mit denselben Wassermengen nicht dieselben Salzquantitäten auf.

2. Unter gewissen Umständen nehmen die Pflanzen aus Salzlösungen, mit denen sie sich in Berührung befinden, relativ weniger Salz als Wasser auf.

3. Unter anderen Umständen treten aus den Lösungen relativ grössere Salz- als Wasserquantitäten in den vegetabilischen Organismus über.

4. Stehen einer Pflanze gleichzeitig verschiedene Salze in ein und derselben Lösung zur Disposition, so übt häufig die Anwesenheit des einen Salzes einen Einfluss auf die Aufnahme eines anderen aus.

Die Hauptresultate der hier zur Kenntniss gebrachten Beobachtungen sind nur verständlich, wenn man daran festhält, dass die Pflanzen nicht als einfache Saugapparate fungiren, und dass die Transpiration der Gewächse, wenn sie gleich einen gewissen Einfluss auf die Salzaufnahme seitens der Wurzeln ausüben kann [1]), doch nur von untergeordneter Bedeutung für den Verlauf dieses Processes ist. Bedenkt man, dass die untergetaucht lebenden Wasserpflanzen, trotzdem sie nicht transpiriren, dennoch Aschenbestandtheile enthalten, und zieht man ferner in Betracht, dass die mineralstoffhaltige Bodenflüssigkeit in die Wurzeln der Landpflanzen zu gewissen Zeiten, wenn dieselben nämlich eine nur sehr schwache Transpiration unterhalten, gar nicht in Folge der Wasserverdunstungsvorgänge eintritt, so wird das Gesagte sofort klar. Aber auch dann, wenn zu Zeiten sehr lebhafte Transpiration der Pflanzen bis in die Wurzeln derselben hinein ein negativer Druck herrscht, und die Wasseraufnahme aus dem Boden fast ausschliesslich oder gänzlich in Folge der Transpiration und durch die damit im genauesten Zusammenhange stehenden Imbibitionsprocesse herbeigeführt wird, wird die Mineralstoffaufnahme doch wesentlich durch ganz andere Factoren als durch Wasserverdunstung herbei-

---

Resultate derselben mehr dazu geeignet sind, das Phänomen der Salzaufnahme seitens der Pflanzen an sich als die Ursachen desselben in ein helles Licht treten zu lassen.

1) Vgl. Schlösing, Compt. rend. T. 69 p. 353.

geführt. Als wichtigste Factoren der Salzaufnahme seitens der Pflanzen sind aber die Processe der Imbibition sowie der Hydrodiffusion und die speciellen im vegetabilischen Organismus zur Geltung kommenden physiologischen Vorgänge anzusehen, durch welche der Verbrauch der Mineralstoffe normirt wird. Von diesem Gesichtspunkte aus wollen wir die angeführten vier Hauptresultate der Untersuchungen Saussure's etc. betrachten[1]).

Zu 1. Dass ein und dieselbe Pflanze aus den Lösungen verschiedener Salze von gleicher Concentration nicht dieselben Salzmengen aufnimmt, wird zum Theil bereits verständlich, wenn man sich an das immer wieder aufs Neue bei der Ausführung der Untersuchungen über das Wesen der osmotischen Processe constatirte Ergebniss erinnert, wonach verschiedene Salze ein und dieselbe Membran mit ungleicher Geschwindigkeit passiren. Namentlich ist hier aber daran zu erinnern, dass diejenigen Stoffe, welche in den Pflanzen in beträchtlichen Mengen zur Verarbeitung gelangen, auch in erheblichen Quantitäten aufgenommen werden müssen. Findet ein Körper in der Pflanze keine Verwendung, so wird der Pflanzensaft alsbald relativ reich an dieser Substanz sein, und es liegt kein Grund zur weiteren Aufnahme desselben von aussen vor. Wenn aber im Körper ein Organismus verbraucht wird, also aus dem Zellsafte verschwindet, und dadurch seines osmotischen Gegendrucks verlustig geht, so wird die Pflanze neue Quantitäten dieser Verbindung aufnehmen können.

Zu 2. Wenn die Pflanzen unter bestimmten Umständen, nämlich dann, wenn ihnen relativ concentrirte Lösungen solcher Stoffe zur Disposition stehen, die nur in geringem Masse im Organismus zur Verarbeitung gelangen, verhältnissmässig viel Wasser, dagegen relativ wenig Salz aufnehmen, so findet diese Erscheinung für stark transpirirende Gewächse ihre Erklärung namentlich darin, dass eben die Wasserverdunstung die in die Pflanze übergetretenen und an Salzen relativ reiche Flüssigkeit concentrirt und damit der ferneren lebhaften Salzaufnahme ein Ziel setzt, während die Wasseraufnahme energisch fortschreiten muss. Dass Samen aus Salzlösungen, mit denen sie in Contact gerathen, sehr häufig relativ viel Wasser und wenig Salz aufnehmen, steht gewiss in Beziehung zu der bei dem Studium des Imbibitionsprocesses gemachten Er-

1) Es handelt sich hier nur darum, das Verhalten der Pflanzenwurzeln Salzlösungen gegenüber zu betrachten, und wir gehen nicht auf die in Folge von Nebenumständen noch complicirteren Verhältnisse der Mineralstoffaufnahme der Wurzeln aus dem Boden ein.

fahrung, wonach imbibitionsfähige Körper verdünntere Salzlösungen aufnehmen als diejenigen sind, welche ihnen zur Disposition stehen. Weiter ist aber mit Rücksicht auf den Quellungsprocess der Samen zu beachten — und ähnliches gilt auch für entwickelten schwach oder gar nicht transpirirenden Pflanzen — dass die Flüssigkeitsaufnahme nicht allein in Folge der Imbibitionsprocesse, sondern weiter ebenfalls in Folge osmotischer Vorgänge zu Stande kommt. Der Verlauf dieser osmotischen Processe wird nun aber wesentlich beeinflusst durch die Beschaffenheit der plasmatischen Gebilde der Zellen, und da die Hautschichten der Plasmagebilde die Salzmoleküle nur sehr schwierig, die Wassermoleküle aber leicht passiren lassen, so müssen jene in relativ geringen, diese aber in grossen Mengen in die Pflanzen eintreten [1]).

Zu 3. Die Erscheinung, dass die Pflanzen den Salzlösungen relativ viel Salz und relativ wenig Wasser entziehen, muss sich namentlich dann geltend machen, wenn man es mit Lösungen solcher Stoffe zu thun hat, die in den Zellen der Gewächse eine ausgedehntere Verarbeitung erfahren. Diese Stoffe gehen in Folge dessen ihres osmotischen Gegendrucks verlustig, und die Diffusionsprocesse führen eine erneute Aufnahme derselben von aussen herbei.

Zu 4. Zur Erklärung der Erscheinung, dass die Aufnahme eines Körpers seitens der Pflanzen durch die Gegenwart anderer beeinflusst wird, ist zunächst darauf aufmerksam zu machen, dass z. B. nach Niewerth [2]) das osmotische Verhalten eines Körpers selbst ausserhalb des Organismus durch die Gegenwart eines anderen Körpers modificirt wird. Wenn ferner z. B. eine Verbindung die Verarbeitung einer zweiten Verbindung in der Pflanze beschleunigt, so muss diese letztere bei Gegenwart der ersteren in grösseren Quantitäten als bei Abwesenheit derselben von aussen aufgenommen werden.

Die vorstehenden Darstellungen sollen nur Anhaltspunkte zur Beurtheilung der sich bei der Salzaufnahme seitens der Pflanze geltend machenden Erscheinungen darbieten. Wir gehen hier nicht näher auf die verwickelten Verhältnisse ein, sondern wenden unsere Aufmerksamkeit dem Verhalten der Aschenbestandtheile in den Keimpflanzen zu.

---

1) Ueber das Verhalten von Salzen dem Plasma gegenüber vgl. man de Vries, Archives Néerlandaises, T. 6.

2) Vgl. Niewerth, Inaugural-Dissert. Jena, 1875.

Drittes Capitel.

Das Verhalten der Aschenbestandtheile bei der Entwickelung des Embryo.

Im Jahre 1800 schrieb die Berliner Akademie der Wissenschaften eine Preisaufgabe aus, um darüber Aufschluss zu erlangen, ob die Getreidearten die Mineralstoffe, welche sie enthalten, von aussen aufnehmen, oder ob sie dieselben im Organismus durch vitale Kräfte erzeugen [1]. Schrader [2]) suchte diese Frage zu beantworten. Er säete z. B. 3494 Roggenkörner in Schwefelblumen aus und liess die Pflänzchen sich entwickeln. Die ausgelegten Samen enthielten $7^{9}/_{10}$ Gran Asche, und da Schrader der Ansicht war, dass seine Schwefelblumen und das zum Begiessen der Pflanzen benutzte destillirte Wasser keine Mineralstoffe enthielten, so schloss er, dass eine sich etwa geltend machende Vermehrung der Aschenbestandtheile in den Pflanzen lediglich durch Erzeugung der Mineralstoffe im vegetabilischen Organismus herbeigeführt sein könnte. Die geernteten Pflanzen zeigten ein Gewicht von 437 Gran und enthielten in der That bedeutend mehr Mineralstoffe als die ausgesäeten Körner, nämlich $15^{1}/_{10}$ Gran. Aehnliche Ansichten wie Schrader hat ebenfalls Braconnot [3] auf Grund der Resultate gewisser Untersuchungen, die er mit Sinapis alba anstellte, ausgesprochen.

Wenn wir die hier vorgeführten Anschauungen beurtheilen wollen, so dürfen wir dabei nicht ausser Acht lassen, dass die Methoden, die zu Anfang unseres Jahrhunderts bei der Ausführung physiologischer Untersuchungen zur Anwendung kamen, noch auf einer sehr niederen Stufe der Entwickelung standen. Ueberdies ist zu bedenken, dass ja zur Zeit, als Schrader und Braconnot ihre Arbeiten ausführten, die Vorstellung von der Existenz einer nur im vegetabilischen und animalischen Organismus thätigen Lebenskraft noch sehr verbreitet war [4].

---

1) Vergl. über die hier in Rede stehenden Verhältnisse die ausführlichen Auseinandersetzungen in meiner Dissertation. Leipzig, 1871. S. 36 etc.

2) Vergl. Schrader, Preisschrift über die eigentliche Beschaffenheit und Erzeugung der erdigen Bestandtheile in den verschiedenen inländischen Getreidearten. — F. Schulze, Lehrbuch d. Chemie f. Landwirthe. B. 2. S. 6.

3) Vergl. Braconnot, Annales de Chim. T. 61. p. 187.

4) Der Curiosität halber sei hier bemerkt, dass Herzeele, vergl. dessen Abhandlung: Einige Thatsachen, aus denen die Entstehung der anorganischen Stoffe abgeleitet werden kann, Berlin, 1876, noch heute an Schraders und Braconnots Ansichten festhält, ja die Richtigkeit derselben sogar experimentell bewiesen

Jablonski[1]) unternahm es bald, die Resultate Schraders zu prüfen und gelangte bei seinen Untersuchungen zu entgegengesetzten Ergebnissen wie dieser. Die Pflanzen sind nach Jablonski nicht im Stande, Mineralstoffe durch vitale Kräfte zu erzeugen, sondern nehmen dieselben von aussen auf. Leider beweisen die Untersuchungen des zuletzt genannten Forschers aber nicht streng, was sie beweisen sollen.

Davy[2]) hat gezeigt, dass die Kieselsäure nicht durch die Thätigkeit der Lebenskraft im Organismus der Pflanzen erzeugt wird. Endgültig sind die hier berührten Fragen erst im Jahre 1842 durch Untersuchungen von Wiegmann und Polstorff[3]), die mit aller Sorgfalt ausgeführt wurden, entschieden worden. Diese beiden Forscher füllten z. B. einen Platintiegel mit Platindraht an, benetzten den letzteren mit destillirtem Wasser und legten 30 Stück Kressesamen auf den Draht. Jetzt wurde der Tiegel unter eine luftdicht abgeschlossene Glasglocke, in der sich ein aus 21 Thl. Sauerstoff, 78 Thl. Stickstoff und 1 Thl. Kohlensäure bestehendes Gasgemisch befand, gebracht. Die Pflanzen keimten, vegetirten 26 Tage lang und erreichten eine Höhe von 2—3 Zoll. Als die Ernte getrocknet und eingeäschert wurde, ergab sich der Gehalt der Kressepflanzen an Mineralstoffen zu 0.0025 Grm.

30 Kressesamen lieferten ebenfalls 0.0025 Grm. Asche, und somit ergiebt sich, dass die Pflanzen nicht im Stande sind, Mineralstoffe durch vitale Kräfte in ihrem Organismus zu erzeugen. Weiter haben dann aber die Untersuchungen verschiedener Forscher ergeben, dass die Aschenbestandtheile der Gewächse, trotzdem sie nur einen verhältnissmässig geringen Bruchtheil der Pflanzentrockensubstanz ausmachen, für das Leben der vegetabilischen Organismen von höchster Bedeutung sind, und dass eine normale Entwickelung derselben durchaus an die Gegenwart bestimmter Mineralstoffquantitäten gebunden ist.

Die Entwickelung des Embryo bei der Keimung kann ebenfalls nicht erfolgen, wenn Mineralstoffe fehlen. Deshalb ist es

---

haben will. Eine Kritik der Angaben Herzeeles ist selbstverständlich gänzlich überflüssig.

1) Vergl. Jablonski, dissertatio inauguralis de conditionibus vegetationi necessariis quibusdam. — Schulze, Chemie f. Landwirthe. B. 2. S. 9.

2) Vergl. Davy, Elemente d. Agriculturchemie. Deutsch v. Wolff. 1814. S. 356.

3) Vergl. Wiegmann und Polstorff, Die Bedeutung d. anorganischen Bestandtheile d. Pflanzen. 1842. S. 36.

von grosser Wichtigkeit, dass das Endosperm, das Perisperm oder die Cotyledonen der Samen Mineralstoffe als Reservestoffe enthalten. Kurz nach Beginn der Keimung beginnt ein sehr lebhaftes Wachsthum des Embryo, und die Mineralstoffe müssen sich in Folge dessen von dem Orte ihrer Ablagerung aus hin zu den Orten des Verbrauchs bewegen. Dass eine derartige Wanderung der Mineralstoffe in der Keimpflanze thatsächlich erfolgt, lässt sich leicht zeigen.

F. Schulze[1]) liess z. B. Weizenkörner bei einer Temperatur von 12—15° C. so lange keimen, bis die jungen Pflänzchen eine durchschnittliche Länge von 30 paris. Linien erlangt hatten.

1000 Grm. Weizenkörner lieferten:

Ursprüngliche Feuchtigkeit	115.1500	Grm.
Trkfl. im Quellwasser	2.6934	„
Radicula . . (bei 100° getrocknet)	45.0145	„
Plumula . . „ „ „	46.5072	„
Samenreste . „ „ „	644.5451	„
Ungek. Samen „ „ „	80.9940	„
	934.3042	Grm.
Verlust beim Keimen	65.6958	„
	1000.0000	Grm.

Es enthielten 100 Thl. der

	Stickstoff	Asche
bei 100° getrockn. Radicula	4.823 Thl.	6.125 Thl.
„ „ „ Plumula	5.535 „	4.525 „

Die Asche zeigte die folgende procentische Zusammensetzung:

	Radicula	Plumula
P_2O_5	29.116	41.006
SiO_2	8.750	2.350
SO_3	0.292	—
Cl	0.994	0.148
K_2O	43.227	48.377
Na_2O	12.266	—
CaO	0.745	0.577
MgO	4.051	5.934
Fe_2O_3	0.429	0.381
	99.860	98.773

Unter Zugrundelegung der angeführten Zahlen habe ich den absoluten Gehalt der 45.0145 Grm. Radicula und der 46.5072 Grm.

1) Vergl. F. Schulze, Annal. d. Chem. u. Pharm. B. 59. S. 182 u. Journal f. prakt. Chem. B. 77. S. 202.

Plumula an Stickstoff und einigen Aschenbestandtheilen berechnet. Diese Berechnung führte zu folgenden Ergebnissen:

	Radicula.	Plumula.
N	2.17 Grm.	2.57 Grm.
P_2O_5	0.80 „	0.86 „
K_2O	1.19 „	1.02 „
MgO	0.11 „	0.12 „

Die vorstehenden Angaben zeigen, dass das Verhältniss zwischen dem Stickstoff und den einzelnen Mineralstoffen, sowie dasjenige zwischen den einzelnen Mineralstoffen selbst sich in der Radicula und Plumula des Weizens sehr ähnlich gestaltet. Eigenthümlich ist, was hervorgehoben zu werden verdient, dass Schulze in der Asche der Plumula des Weizens kein Natron nachweisen konnte, während die Asche der Radicula 12.266 % dieser Basis enthielt.

Wunder[1]) stellte einige Untersuchungen über die Vertheilung der Mineralstoffe in Turnipkeimpflänzchen an. Die Samen wurden auf feucht erhaltene Gaze, welche über Schalen ausgespannt war, gelegt, und zwar verblieben sie hier 14 Tage lang, in welcher Zeit die Plumula eine Länge von reichlich einem Zoll erreichte[2]). Weitere Versuche wurden derartig ausgeführt, dass die Turnippflanzen sich 14 Tage lang im Boden wurzelnd entwickelten. Einige Resultate der Untersuchungen Wunders sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Bestandtheile in 100 Trockensubstanz.

	Keimversuche.		Pflänzchen im Boden erwachsen.	
	Plumula.	Radicula.	Blätter.	Wurzeln.
Eisenoxyd	0.09	0.46	0.34	1.45
Kalk	0.64	0.61	5.87	5.28
Magnesia	0.80	0.46	1.40	1.32
Kali	1.07	2.76	3.75	3.03
Natron	0.00	Spur	0.57	1.32
Phosphorsäure	2.68	1.99	1.65	1.68
Schwefelsäure	1.65	1.22	1.85	1.98
Chlor	Spur	Spur	0.83	—
Kieselsäure	Spur	Spur	0.39	1.71
	6.93	7.50	16.65	17.77
Stickstoff	6.59	5.65	6.50	3.49

1) Vgl. Wunder, Versuchsstationen. B. 3. S. 158.

2) Es ist nicht angegeben, ob die Pflänzchen sich bei Gegenwart oder bei Abschluss des Lichtes entwickelten.

Diese Angaben zeigen sehr deutlich, wie verschiedenartig sich die Zusammensetzung der Pflanzen gestaltet, die auf Gaze einerseits und andererseits im Boden wurzelnd cultivirt werden. Namentlich ist der Kalk- und Kaligehalt der Pflanzen, die sich im Boden wurzelnd entwickelten, weit höher als derjenige der auf Gaze cultivirten Untersuchungsobjecte [1]).

Interessante Untersuchungen über das Verhalten der Mineralstoffe bei der Keimung der Schminkbohnen hat Schröder [2]) ausgeführt. Die Keimungsproducte wurden der Analyse in folgenden Entwicklungsstadien unterworfen:

I. Samen, nachdem dieselben sich 24 Stunden lang mit Wasser in Berührung befunden hatten. Der Grund, weshalb nicht das ursprüngliche Samenmaterial zum Ausgangspunkte gewählt wurde, lag in der Schwierigkeit einer vollkommenen Trennung der Testa von den Cotyledonen. Diese Trennung lässt sich, wenn die Samen 24 Stunden lang gequollen haben, mit grosser Leichtigkeit bewerkstelligen.

II. Hypocotyles Glied und Hauptwurzel haben sich stark entwickelt. Die Nebenwurzeln erster Ordnung beginnen sich eben zu zeigen. Primordialblätter und erstes Stengelglied wenig entwickelt.

III. Hypocotyles Glied und Hauptwurzel haben weitere Verlängerung erfahren. Die Cotyledonen sind ergrünt und ganz aus der Samenschale herausgetreten. Das erste Stengelglied hat sich stark gestreckt und ist grün. Die Primordialblätter sind gross geworden, grün und entfaltet; die Stiele derselben haben sich gestreckt.

IV. Beendigung der Keimung. Die Cotyledonen sind in ihrem Volumen stark reducirt und zum Theil eingeschrumpft. Die Entwickelung des Wurzelsystems ist fortgeschritten, und Nebenwurzeln zweiter Ordnung sind entstanden. Das erste Stengelglied und die Primordialblätter haben sich vergrössert. Das zweite und dritte Stengelglied mit gedreiten Blättern sind aus der im vorigen Stadium entstandenen Anlage entwickelt [3]).

---

1) Die Ursachen, welche diese Erscheinungen bedingen, liegen auf der Hand und brauchen nicht specieller berührt zu werden.

2) Vgl. Schröder, Versuchsstationen. B. 10. S. 493.

3) Die Untersuchungsobjecte gelangten in Berührung mit destillirtem Wasser zur Entwickelung.

1000 Grm. lufttrockener Bohnen (mit 12.66 % Wasser) haben geliefert in Grm.:

		I.	II.	III.	IV.
Cotyledonen .	Trksbst.	767.82	708.55	508.75	228.52
	Wasser	1004.40	1397.57	1816.88	1772.98
Keimpflanzen .	Trksbst.	5.50	17.94	107.38	283.25
	Wasser	11.51	179.77	1246.95	3222.20
Samenschalen.	Trksbst.	97.42	92.70	84.51	81.64
	Wasser	146.68	134.24	220.26	236.46
Im Keimwasser gelöst	Trksbst.	—	2.63	7.03	10.56
	Summe	2033.33	2533.40	3991.76	5835.61

Die nach Ablauf des dritten und vierten Keimungsstadiums erhaltenen Producte wurden in ihre einzelnen Theile zerlegt. 1000 Grm. lufttrockener Bohnen (mit 12.66 % Wasser) haben geliefert in Grm.:

		III.	IV.
Cotyledonen	Trksbst.	508.75	228.52
	Wasser	1816.88	1772.98
Wurzel- und hypocotyles Glied	Trksbst.	48.98	84.38
	Wasser	616.95	1226.18
Erstes Stengelglied	Trksbst.		84.21
	Wasser		897.11
Primordialblätter	Trksbst.	Trksbst.	46.10
	Wasser	58.40	319.03
Stiele der Primordialblätter .	Trksbst.	Wasser	18.67
	Wasser	630.30	250.47
Zweites und drittes Stengelglied mit zugehörigen gedreiten Blättern	Trksbst.		49.89
	Wasser		529.41
Samenschale	Trksbst.	84.51	81.64
	Wasser	220.26	236.46
Im Keimwasser gelöst . . .	Trksbst.	7.03	10.56
	Summe	3991.76	5835.61

Das Gesammtgewicht der Trockensubstanz der lufttrockenen Bohnen ist 1000 — 126.6 = 873.4. Wir erhalten sonach folgende Uebersicht der Substanzverluste in Grm.:

	I.	II.	III.	IV.
Summe der Trksbst. im Stadium:	870.74	821.82	707.67	603.97
Substanzverlust bis zum Stadium:	2.66	51.58	165.73	269.43
	873.40	873.40	873.40	873.40

Ueberblicken wir die in den vorstehenden Tabellen mitgetheilten Zahlen, so erkennen wir, dass die Samen zunächst bedeutende Wassermengen aufnehmen, aber nur einen geringen Trockensubstanzverlust erleiden. Später wird der Substanzverlust immer erheblicher. Bemerkenswerth ist, dass die Cotyledonen immer ärmer an Trockensubstanz werden, während die Keimpflanze fortschreitend reicher daran wird [1]).

Die von Schröder ausgeführten Stickstoffbestimmungen führten zu den folgenden Resultaten:

Auf 1000 Grm. lufttrockener Bohnen sind vorhanden Stickstoff in Grm.:

	I.	II.	III.	IV.
Cotyledonen	28.01	26.33	19.36	8.55
Keimpflanze	0.39	1.15	7.47	18.05
Schale	0.85	0.66	0.74	0.71
Verlust	—	1.11	1.68	1.94

Zur Beurtheilung der Vertheilung des Stickstoffs in den Producten der Perioden III und IV sind noch die folgenden Angaben von Interesse:

Auf 1000 Grm. lufttrockener Bohnen enthalten Stickstoff in Grm.:

	III.		IV.
Cotyledonen	19.36		8.55
Wurzel + hypoctl. Glied	2.28	7.47	4.52
Erstes Stengelglied	5.19		5.00
Stiele d. Primordialblätter			1.25
Primordialblätter			3.94
2. und 3. Stengelglied mit zugehörigen Blättern			3.34
Verlust d. geschälten Samen	1.57		1.80
	28.40		28.40

Man erkennt hieraus, dass bei der Entwickelung der Untersuchungsobjecte stickstoffhaltige Verbindungen aus den Cotyledonen in die Keimpflanze eingewandert sind.

Bei den Untersuchungen über die Vertheilung der Mineralstoffe in den einzelnen Organen der Schminkbohne ist zunächst nur Rücksicht auf die wichtigsten Basen und Säuren genommen worden [2]). Die Beobachtungen lieferten die folgenden Ergebnisse:

1) Die Bereicherung der Keimpflanze an Trockensubstanz musste zwar wesentlich auf Kosten der Reservestoffe der Cotyledonen erfolgen; indessen leider wurden die Versuchsobjecte nicht bei Abschluss des Lichtes erzogen, so dass die Assimilation nicht gänzlich ausgeschlossen war.

2) Kieselsäure war nur in Spuren vorhanden.

Auf 1000 Grm. lufttrockener Bohnen kommen Grm.:

		K_2O.	Na_2O.	P_2O_5.	MgO.	CaO.	Fe_2O_3.
I. Stadium	Cotyledonen	17.90	1.32	9.59	2.49	0.51	0.05
	Keimpflanze	0.07	0.01	0.11	0.02	0.01	0.00
	Summe	17.97	1.33	9.70	2.51	0.52	0.05
IV. Stadium	Cotyledonen	7.03	0.50	2.36	0.99	0.48	0.04
	Wurzel + hypoctl. Glied	2.60	0.31	1.74	0.24	0.10	0.03
	Erstes Stengelglied	2.45	0.20	1.20	0.23	0.05	0.01
	Stiele d. Primordialblätt.	1.37	0.09	0.43	0.11	0.02	0.00
	Primordialblätter	1.56	0.24	1.34	0.47	0.03	0.02
	2. und 3. Stengelglied und zugehörige Blätter	2.55	0.07	1.92	0.50	0.03	0.01
	Summe	17.56	1.41	8.99	2.54	0.71	0.11

Aus diesen Angaben erkennen wir deutlich, dass die Mineralstoffe bei der Keimung in erheblichen Mengen aus den Reservestoffbehältern in die junge Keimpflanze wandern. Nur Kalk und Eisenoxyd betheiligen sich an dieser Wanderung wenig und verharren ihrer Hauptmasse nach in den Cotyledonen. Die Thatsache, dass die Untersuchungsobjecte am Ende des vierten Stadiums mehr Kalk und Eisenoxyd als nach Abschluss des ersten enthalten erklärt Schröder durch den Hinweis darauf, dass die Samenschalen wohl gewisse Mengen dieser Basen an das Wasser, in welchem sich die Keimpflänzchen entwickelten, abgegeben hatten, so dass sie nun von den Wurzeln aufgenommen werden konnten.

Schliesslich ist noch zu bemerken, dass Schröder kein constantes Verhältniss zwischen dem Stickstoff- und Phosphorsäuregehalt der einzelnen Organe der Pflanzen nachweisen konnte. Setzt man den Phosphorsäuregehalt = 1, so gestaltet sich das Verhältniss wie folgt:

Verhältniss von P_2O_5 : N in der Trockensubstanz:

I. Stadium.		IV. Stadium.	
Cotyledonen	1:2.92	Cotyledonen	1:3.34
Keimpflanze	1:3.55	Ganze Keimpflanze	1:2.72
		Wurzel + hypocotl. Glied	1:2.60
		Erstes Stengelglied	1:4.17
		Stiele der Primordialblätter	1:2.91
		Primordialblätter	1:2.94
		2. und 3. Stengelglied mit Blättern	1:1.73

Recht beachtenswerthe Resultate erhielt Kellner[1]) bei der Untersuchung der Samen und Keimpflanzen einer englischen Varietät von Pisum sativum auf ihren Gehalt an löslichen Stoffen. Die Keimungsproducte wurden in den folgenden Entwickelungsstadien der Untersuchung unterworfen:

1) Nach dem vollständigen Aufquellen der Samen in Wasser; nach 40—48stündigem Quellen war dies erreicht.
2) In dem Zustande, in welchem die Hauptwurzel sich stark entwickelt hatte, das erste Stengelglied sich aber noch zwischen den Cotyledonen befand; nach 5tägigem Keimen war in der Regel dieser Zustand erreicht.
3) In dem Zustande, in welchem die Endknospe sich zu entfalten begann und Nebenwurzeln angesetzt hatten; gewöhnlich waren die Keimpflanzen nach 10 Tagen so weit vorgeschritten.

Die Samen wurden zum Quellen in Wasser gelegt und später, wenn die Entwickelung der Keimpflanze bis zu einem bestimmten Grade fortgeschritten war, gelangten die Untersuchungsobjecte auf Gaze, so dass die Wurzeln in Wasser eintauchten. Wenn die bestimmten Entwickelungsstadien erreicht waren, wurde die vegetabilische Masse zerrieben, um alle Zellen zu zerquetschen. Der feuchte Brei wurde mit Hülfe der Methode von R. Sachsse seiner löslichen Stoffe beraubt, und zwar gelangten auf je 10 Grm. Erbsen 500 Cc. Wasser zur Anwendung[2]).

Zur Bestimmung der Mineralstoffe in den gewonnenen Extracten wurde ein Theil der Flüssigkeit eingedunstet, die zurückbleibende Masse erhitzt, die Kohle mit Wasser ausgezogen, und die Analyse weiter in bekannter Weise fortgeführt. Zur Bestimmung der im Filtrat gelösten Proteinsubstanzen wurde ein Theil der Flüssigkeit erhitzt, und auf diese Weise das Eiweiss abgeschieden. Das Filtrat wurde in einem Hofmeister'schen Glasschälchen eingedunstet, um den Rückstand dann mit Natronkalk gemischt zu glühen und den nicht in Form von Albumin vorhandenen Stickstoff zu bestimmen. In den sogleich folgenden Tabellen ist dieser Theil des Stickstoffs kurzweg als löslicher Stickstoff bezeichnet. Zur Bestimmung der gesammten Menge der löslichen Bestandtheile wurden 50 Cc. Flüssigkeit in einem Glasschälchen eingedunstet und der Rückstand getrocknet.

---

1) Vgl. Kellner, Versuchsstationen. B. 17, S. 408.

2) Dabei wurden stets das Quellwasser und die Flüssigkeiten, in welche die Wurzeln der Pflanzen eingetaucht hatten, mit verwandt.

In den folgenden Tabellen sind nun die Resultate der Untersuchungen (stets bezogen auf 100 Grm. der lufttrockenen Samen oder eine entsprechende Menge der Keimpflanzen) zusammengestellt. Tabelle I giebt den Gehalt der lufttrockenen Samen an Mineralbestandtheilen an. In Tabelle II ist der Gehalt der Keimungsproducte der ersten Periode an löslichen anorganischen und organischen Bestandtheilen mitgetheilt. Die Zahlen der Tabellen III und IV beziehen sich auf den Gehalt der Keimungsproducte der zweiten und dritten Periode an löslichen Substanzen.

	I.		II.		
	1.	2.	1.	2.	3.
Eisenoxyd	0.013	0.012	0.003	0.004	—
Kalk	0.100	0.096	0.066	0.069	—
Magnesia	0.161	0.166	0.116	0.109	—
Kali	0.030	0.009	1.009	0.987	—
Natron	0.010	0.012	0.004	0.004	—
Kieselsäure	0.021	0.019	0.005	0.005	—
Phosphorsäure	0.816	0.824	0.726	0.701	—
Schwefel	0.472	0.485	0.463	0.455	—
Eiweiss	—	—	1.492	1.747	1.706
Löslicher Stickstoff	—	—	0.748	0.688	0.702
Gesammt-Lösliches	—	—	15.488	16.205	16.024

	III.			IV.		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Eisenoxyd	0.005	0.005	—	0.005	0.006	—
Kalk	0.064	0.066	—	0.054	0.053	—
Magnesia	0.116	0.115	—	0.111	0.119	—
Kali	0.998	0.981	—	0.970	0.940	—
Natron	0.003	0.005	—	0.004	0.003	—
Kieselsäure	0.007	0.007	—	0.007	0.007	—
Phosphorsäure	0.698	0.686	—	0.683	0.662	—
Schwefel	0.430	0.436	—	0.310	0.325	—
Eiweiss	1.820	1.942	1.846	2.571	2.743	2.424
Löslicher Stickstoff	0.764	0.743	0.778	1.049	0.984	0.966
Gesammt-Lösliches	17.624	18.064	17.913	20.669	20.456	19.750

Aus diesen Angaben erkennen wir, dass die organischen Substanzen bei der Keimung immer mehr und mehr in Umlauf gesetzt werden. Die Magnesia zeigt stets die gleiche Löslichkeit; Kalk, Kali, Phosphorsäure und Schwefel werden dagegen successive unlöslicher.

Von besonderem Interesse erscheint die Thatsache, dass der

Schwefel bei der Keimung mehr und mehr in unlösliche Verbindungen übergeführt worden ist. Ein Theil des Schwefels war in den ruhenden Samen in Form von Schwefelsäure vorhanden, und die Vermuthung liegt nahe, dass eine gewisse Quantität der Schwefelsäure bei der Keimung eine Reduction erfahren habe, und der Schwefel in organische Verbindungen übergegangen sei. Diese Vermuthung bedurfte um so mehr der Prüfung, als Kellner, wie an einem andern Orte gezeigt werden soll, ermitteln konnte, dass die Salpetersäure, welche man keimenden Erbsen in geeigneter Form zuführt, leicht reducirt wird.

Zur Bestimmung des Schwefelsäuregehaltes der Untersuchungsobjecte wurden die wässerigen Extracte mit Barytwasser versetzt, der wesentlich aus kohlensaurem und schwefelsaurem Baryt bestehende Niederschlag wurde abfiltrirt und mit Salzsäure ausgekocht. Der aus schwefelsaurem Baryt, Chlorbarium und Eiweiss bestehende Rückstand wurde mit reiner Soda aufgeschlossen, die Schmelze mit Wasser behandelt, und nach dem Filtriren aus der gewonnenen Flüssigkeit die Schwefelsäure mit Chlorbarium ausgefällt.

100 Grm. lufttrockener Erbsen enthielten nach 48stündigem Quellen:

1.	2.
0.125 Grm. SO_3.	0.114 Grm. SO_3.

Nach 10tägigem Keimen enthielten die Untersuchungsobjecte nur noch:

1.	2.
0.073 Grm. SO_3.	0.064 Grm. SO_3.

In einem directen Gegensatze mit den Angaben Kellners über das Verhalten der Schwefelsäure bei der Keimung scheinen auf den ersten Blick diejenigen Resultate zu stehen, welche E. Schulze bei bezüglichen Untersuchungen, die er in Gemeinschaft mit verschiedenen anderen Beobachtern ausführte, erhielt [1]).

100 Theile ruhender Lupinensamen enthielten z. B. 0.385 Theile Schwefelsäure. Es ergab sich nun, dass die bei Lichtabschluss erzogenen und 100 Theile der Samen entsprechenden Lupinenkeimpflanzen stets reicher an Schwefelsäure als die ersteren waren. Die absolute Schwefelsäurezunahme betrug nach

2) Vgl. E. Schulze, Versuchsstationen, B. 19. S. 172 sowie landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 5, S. 856 und B. 7, S. 438.

4tägiger	Keimung	0.026	Thl.	SO_3.
7	„	0.234	„	„
12	„	0.849	„	„
15	„	0.938	„	„
24	„	1.066	„	„ [1]).

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Neubildung von Schwefelsäure bei der Keimung in Folge eines Oxydationsprocesses, dem der in organischer Verbindung vorhandene Schwefel anheimfällt, stattfindet, und zwar ist es höchst wahrscheinlich, dass der Schwefel der Proteinstoffe das Material zur Schwefelsäurebildung liefert.

Die Proteinstoffe, welche bei der Keimung zerfallen, liefern einerseits das Material zur Bildung von Amiden etc., andererseits wird aber auch höchst wahrscheinlich eine schwefelhaltige Atomgruppe abgespalten, deren Elemente allmählich einem Oxydationsprocesse unterliegen.

Dass diese Anschauung der Wahrheit wirklich sehr nahe kommt, darf um so mehr behauptet werden, als Schulze in der That gezeigt hat, dass der Schwefel der bei der Keimung zerfallenen Eiweisskörper vollkommen ausreicht, um die Bildung der angegebenen Schwefelsäuremengen zu ermöglichen. Nach den Ermittelungen des genannten Forschers konnten die während der Keimung zerfallenen Eiweissstoffe nämlich liefern bei

4tägiger	Keimung	0.140	Thl.	S.	= 0.350	Thl.	SO_3.
7	„	0.222	„	„	= 0.555	„	„
12	„	0.368	„	„	= 0.920	„	„
15	„	0.408	„	„	= 1.019	„	„
24	„	0.425	„	„	= 1.063	„	„

Wenn man diese Zahlen mit denjenigen vergleicht, welche sich auf die Schwefelsäurezunahme der Keimpflanzen beziehen, so tritt die beachtenswerthe Thatsache hervor, dass zu Beginn der Keimung nicht sämmtlicher Schwefel der zersetzten Eiweissstoffe oxydirt wird, während später die producirte Schwefelsäuremenge dem Schwefel der zersetzten Proteinstoffe fast genau entspricht. Dies Verhältniss weist mit Bestimmtheit darauf hin, dass bei der Eiweisszersetzung eine schwefelhaltige Atomgruppe abgespalten wird, die erst allmählich der Oxydation anheimfällt [2]).

---

1) Auch bei der Keimung der Wicken- und der Kürbissamen erfolgt nach E. Schulze eine Schwefelsäurebildung.

2) Man könnte sich a priori auch denken, dass der Schwefel der Proteinstoffe

Was die Differenz in den Angaben Kellners und E. Schulzes anbelangt, so ist zunächst zu bemerken, dass wechselnde äussere Umstände das Verhalten der Schwefelsäure bei der Keimung modificiren können. E. Schulze cultivirte die Keimpflanzen bei Lichtabschluss, und unter diesen Verhältnissen erfolgt der Oxydationsprocess des Schwefels in ausgedehntem Masse. Es ist damit allerdings nicht gesagt, dass die Reduction von Schwefelsäure im Finstern völlig ausgeschlossen bleibt, aber auf jeden Fall machte sich die letztere weniger lebhaft als der Oxydationsprocess des Schwefels geltend. Kellners Erbsenkeimpflanzen haben sich, wie aus einer beiläufigen Bemerkung des genannten Autors hervorzugehen scheint, bei Lichtzutritt entwickelt. Unter solchen Umständen erfolgt aus Gründen, die in einem der nächsten Hauptabschnitte specieller betrachtet werden sollen, eine lebhaftere Regeneration der Eiweisszersetzungsproducte zu Proteinkörpern als im Finstern, und da die letzteren stets schwefelhaltig sind, so mag ein beträchtlicherer Theil des nothwendigen Schwefels durch Reduction vorhandener Schwefelsäure gewonnen worden sein.

Uebrigens ist es ebenso nicht undenkbar, dass sich verschiedene Samen in der hier in Rede stehenden Beziehung unter gleichen äusseren Verhältnissen nicht in ein und derselben Weise verhalten. Wenn z. B., wie es thatsächlich aus später zu entwickelnden Gründen bei der Keimung der Erbse der Fall ist, die Eiweissregeneration auf Kosten von Eiweisszersetzungsproducten selbst im Finstern mit besonderer Leichtigkeit erfolgt, so ist auch die Möglichkeit einer besonders lebhaften Reduction von Schwefelsäure gegeben. Bei der Keimung der Lupinensamen im Finstern tritt dagegen die Eiweissregeneration im Vergleich zur Eiweisszersetzung mehr in den Hintergrund, und damit steht die Thatsache der energischen Schwefelsäureproduction im Zusammenhange [1]).

So viel steht also fest, dass die Aschenbestandtheile der Samen bei der Keimung eine Translocation erfahren und zum Theil in neue Verbindungsformen übergehen. Ueber die physiologischen

---

direct oxydirt würde. Diese Anschauungsweise dürfte aber kaum den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen. Erführe der Schwefel der Proteinkörper unmittelbar eine Oxydation, so müsste die Eiweisszersetzung doch wohl stets genau mit der Schwefelsäurebildung Hand in Hand gehen, was, wie wir gesehen haben, nicht der Fall ist.

1) Zu ganz genauer Einsicht in die hier berührten Verhältnisse wird man erst durch Untersuchungen gelangen, bei deren Ausführung man nicht nur das Verhalten der Schwefelsäure, sondern ebenso dasjenige des Schwefels direct verfolgt.

Functionen, welche die einzelnen Aschenbestandtheile zu erfüllen haben, herrscht aber, wie genugsam bekannt, noch grosses Dunkel. Uebrigens glaube ich, dass gerade das Studium des Verhaltens der Mineralstoffe bei der Keimung von besonderer Bedeutung für die Physiologie sein dürfte. Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, auf die Functionen der Mineralstoffe in der Pflanze einzugehen; ich möchte an dieser Stelle vielmehr nur auf einige Beobachtungen hinweisen, die zu den Fragen, welche uns speciell interessiren, in genauerer Beziehung stehen.

Ins Besondere verdient eine Untersuchung von Weber [1]) Beachtung, bei deren Ausführung sich der genannte Forscher bemühte, die Mineralstoffaufnahme solcher Erbsenkeimpflanzen, die sich bei sehr beschränktem Lichtzutritt entwickelten und anderer, welche unter dem Einfluss verschieden farbigen Lichtes vegetirten, zu studiren. Weber hat namentlich versucht, die folgenden Fragen zu beantworten:

1) Ist die Aufnahme der Aschenbestandtheile unter sonst gleichen Verhältnissen bei verschiedenen Lichteinwirkungen stets proportional der Menge assimilirter organischer Materie oder nicht?

2) Werden einzelne Stoffe unter der Einwirkung gewisser Lichtarten leichter oder schwieriger von den Pflanzen aufgenommen, als im directen Sonnenlicht?

3) Welche quantitative Wirkung kommt den einzelnen Farben gegenüber dem directen Sonnenlicht sowie gegenüber gedämpftem Tageslicht bezüglich der Assimilation und der Aufnahme mineralischer Nährstoffe zu?

Allerdings lassen sich gegen die Methode, welche Weber bei der Ausführung seiner Untersuchungen in Anwendung brachte, mancherlei Bedenken erheben, aber so viel haben die Arbeiten des genannten Beobachters doch gezeigt, dass die Pflanzen, welche lebhafter assimiliren, auch mehr Mineralstoffe mit Hülfe ihrer Wurzeln aufzunehmen vermögen, als diejenigen, welche nur geringe Mengen organischer Substanz neu bilden. Diese Thatsache steht mit der Anschauung im Einklange, dass die Mineralstoffaufnahme seitens der Pflanzen wesentlich durch den Verbrauch der Mineralstoffe im vegetabilischen Organismus regulirt wird.

Uebrigens will ich nicht versäumen, an dieser Stelle auf einige Untersuchungen Mareks [2]) hinzuweisen, bei deren Ausführung

---

1) Vgl. Weber, Versuchsstationen. B. 18. S. 18.

2) Vgl. Marek: Ueber den physiologischen Werth der Reservestoffe in den Samen von Phaseolus vulgaris. Habilitationsschrift, Halle, 1877. S. 12.

derselbe Samen von Phaseolus vulgaris von fast gleichem Gewichte, aber verschiedenem Gehalte an Mineralstoffen benutzte, um zu ermitteln, welchen Einfluss die Zusammensetzung der Samen auf die Entwickelung der erzeugten Pflanzen ausübt[1][2].

---

1) Der Weg, den Marek bei der Ausführung seiner Untersuchungen eingeschlagen hat, ist gewiss sehr beachtenswerth.

2) Man vgl. auch Böhm: Botan. Zeitung. 1875. S. 373.

Dritter Hauptabschnitt.

Das Verhalten stickstoffhaltiger Verbindungen bei der Keimung.

Erstes Capitel.

Die stickstoffhaltigen Verbindungen der Samen.

Wenn wir in diesem Hauptabschnitte das Verhalten der stickstoffhaltigen Verbindungen bei der Keimung untersuchen wollen, so dürfte es angezeigt sein, die verschiedenen in Betracht kommenden Substanzen der Samen zunächst in aller Kürze hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und Eigenschaften ins Auge zu fassen.

In erster Linie beanspruchen die Proteinsubstanzen unser Interesse.

Die im vegetabilischen Organismus vorkommenden Proteinstoffe kann man im Allgemeinen in drei Gruppen bringen: Albuminstoffe, Pflanzencaseine und Kleberproteinstoffe.

Während die Albuminstoffe in den Pflanzensäften in reichlicheren Quantitäten vorhanden sind, werden sie in den meisten ruhenden Samen nur in geringen Mengen angetroffen [1]).

Die wesentlichen Eigenthümlichkeiten der Albuminstoffe bestehen darin, dass sie in Berührung mit Wasser eine klare Lösung liefern, die beim Erhitzen für sich oder nach dem Ansäuern mit einigen Tropfen Salpetersäure das Gelöste in Form eines flockigen Körpers fallen lässt. Die abgeschiedene Substanz ist in höchst verdünnter Kalilösung und in Säuren unlöslich [2]). Uebrigens ist zu betonen, dass diese Merkmale nur einen ganz allgemeinen Werth

---

1) Man hat das Albumin deshalb als functionirenden Proteinstoff bezeichnet, die Eiweissstoffe der Samen aber Reserveproteinstoffe genannt. Vgl. A. Mayer, Lehrbuch d. Agriculturchemie. 2. Auflg. 1876. S. 203.

2) Bei unseren Auseinandersetzungen über die Proteinstoffe stützen wir uns vor allen Dingen auf Ritthausen's Angaben. Vgl. dessen Werk: Die Eiweissstoffe der Getreidearten, Hülsenfrüchte und Oelsamen. Bonn, 1872.

haben, und dass selbst Ritthausen, der sich so eingehend mit dem Studium der Proteinstoffe beschäftigt hat, auf die Unsicherheiten hinweist, denen man heute noch preisgegeben ist, wenn es sich darum handelt, festzustellen, ob eine Substanz als Albumin aufzufassen sei oder nicht [1]).

Ritthausen hat verschiedene Albuminpräparate dargestellt und analysirt, und wenngleich der genannte Forscher bemerkt, dass einzelne der von ihm untersuchten Substanzen vielleicht nicht völlig chemisch rein waren, so verdienen dennoch Ritthausen's Beobachtungsresultate ein ganz besonderes Interesse.

In der folgenden Tabelle ist unter I die Zusammensetzung des Albumins aus Weizen, unter II diejenige des Albumins aus Gerste, unter III diejenige des Albumins aus Mais, unter IV diejenige des Albumins aus Lupinen, unter V diejenige des Albumins aus Erbsen, unter VI diejenige des Albumins aus Saubohnen und endlich unter VII diejenige des Albumins aus Ricinus nach Ritthausen mitgetheilt [2]):

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
C	53.1	52.9	52.3	52.6	52.9	54.3	53.3
H	7.2	7.2	7.7	7.5	7.1	7.2	7.4
N	17.6	15.7	15.5	17.2	17.1	16.4	—
O	20.5	23.0	—	21.9	21.8	21.2	—
S	1.6	1.2	—	0.8	1.0	0.9	— [3]).

Zu den Pflanzencaseinen rechnet man das Legumin, das Conglutin und das Gluten-Casein. Diese Substanzen lösen sich im reinen Zustande nur in äusserst geringen Mengen in Wasser auf [4]); dagegen werden sie von verdünnter Kalilauge und von Lösungen phosphorsaurer Salze reichlich aufgenommen [5]). Die Pflanzenca-

1) Das sogen. Albumin aus Leguminosensamen z. B. löst sich, abgesehen von demjenigen aus Lupinen, nach dem Coaguliren leicht in Kaliwasser und Essigsäure auf.

2) Die Zusammensetzung der Albumine ist auf aschenfreie Substanz berechnet.

3) In verschiedenen Samen, z. B. im Weizen, kommen, abgesehen vom Albumin noch weiter ein Wasser lösliche Proteinstoffe vor, die aber beim Erwärmen der Lösung nicht coagulirt werden. Diese Eiweissstoffe lassen sich mit Hülfe von Kupfersalzen aus ihren Lösungen abscheiden, sind aber noch nicht genauer untersucht. Vgl. Ritthausen, Eiweisskörper, S. 69.

4) Diese Angabe nach Ritthausen. Für das Conglutin aus gelben Lupinen habe ich mit aller Bestimmtheit constatiren können, dass es in reinem Wasser durchaus unlöslich ist.

5) Das Verhalten der Caseinsubstanzen zu Lösungen phosphorsaurer Salze etc. soll an anderer Stelle eingehender besprochen werden.

seine werden aus ihren Lösungen auf Zusatz sehr geringer Säuremengen und durch Lab in Form von flockigen Substanzen abgeschieden.

1. Als Legumin werden die in Samen von Leguminosen vorkommenden Proteinstoffe bezeichnet. Uebrigens sind die aus verschiedenen Materialien gewonnenen Legumine nicht mit einander identisch, sondern unterscheiden sich in geringerem oder grösserem Grade von einander[1]). Ritthausen stellte seine Leguminpräparate gewöhnlich in der Weise dar, dass er das Samenpulver mit verdünnter Kalilauge behandelte, und das Legumin aus der möglichst geklärten Flüssigkeit mit Hülfe von Essigsäure abschied, um dasselbe dann mit kaltem Wasser und Alcohol gehörig auszuwaschen.

In seiner Zusammensetzung zeigt das Legumin je nach seiner Abstammung, wie aus den folgenden Angaben ersichtlich wird, Unterschiede. Auf aschenfreie Substanz bezogen enthält I das Legumin aus Erbsen, II das Legumin aus Linsen, III das Legumin aus Wicken, IV das Legumin aus Pferdebohnen:

	I.	II.	III.	IV.
C	51.6	52.5	51.1	51.9
H	7.3	6.8	7.1	6.7
N	16.5	16.5	16.9	16.8
O	24.2	23.8	24.5	24.3
S	0.4	0.4	0.4	0.3

Dem Legumin der Leguminosensamen sehr nahe verwandt ist ein Proteinstoff, der in dem Hafer vorkommt, und den man deshalb als Avenin oder Haferlegumin[2]) bezeichnet hat. In Wasser ist dieser Körper unlöslich; Kalilauge nimmt ihn dagegen langsam, aber in beträchtlichen Quantitäten auf.

2. Das Conglutin kommt in den Samen der verschiedenen Lupinenarten, sowie in den süssen und bitteren Mandeln vor. Man stellt es aus diesen Samen in ähnlicher Weise wie das Legumin aus den Erbsen, Bohnen etc. dar. Die procentische Zusammen-

---

1) Hier sei bemerkt, dass es wohl kaum erforderlich ist, auf die Mittel, welche zur Nachweisung der Proteinstoffe dienen, genauer einzugehen. Zumal wird die Fähigkeit der Proteinstoffe, Farbstoffe aufzuspeichern, dazu benutzt, die Gegenwart derselben nachzuweisen, und ferner ist es für diesen Zweck von besonderer Wichtigkeit, dass die Eiweissstoffe sich in Berührung mit einer alkalischen Kupferoxydlösung violet färben.

2) Vgl. Kreusler, Journal f. prakt. Chem. B. 107, S. 17.

setzung des Conglutins aus süssen Mandeln I und aus gelben Lupinen II ist wie folgt ermittelt worden:

	I.	II.
C	50.2	50.8
H	6.8	6.9
N	18.4	18.4
O	24.2	23.0
S	0.4	0.9

3. Das Gluten-Casein ist, während die beiden genannten Repräsentanten der Pflanzencaseine vorwiegend in den Leguminosen angetroffen werden, namentlich in den Samen der Gräser abgelagert. Am bequemsten ist es, das Gluten-Casein aus dem Weizen abzuscheiden, denn dieser besitzt vor anderen Grassamen den Vorzug der Kleberbildung [1]). Der Kleber enthält neben dem Gluten-Casein noch in Alkohol lösliche Proteinstoffe. Um ihn von diesen zu befreien, wird er mit Weingeist behandelt. Den Rückstand löst man in Kaliwasser auf und fällt das Gluten-Casein aus der Lösung mit Säure aus.

Die Zusammensetzung des Gluten-Caseins I aus Weizen, II aus Spelz ist wie folgt ermittelt worden:

	I.	II.
C	52.9	51.0
H	7.0	6.7
N	17.1	17.3
O	22.0	24.1
S	1.0	0.9

Aus dem Buchweizen lässt sich eine Substanz darstellen, die in allen wesentlichen Beziehungen mit dem Gluten-Casein Uebereinstimmung zeigt. Der Körper enthält relativ viel Schwefel, nämlich 1.5⁰/₀.

Zu der dritten grossen Gruppe der Eiweisskörper, den Kleberproteinstoffen, rechnet man das Gluten-Fibrin, das Gliadin oder den Pflanzenleim und das Mucedin. Diese Substanzen bilden im frischen, wasserhaltigen Zustande mehr oder minder zähe, schleimige Massen; sie sind theilweise etwas löslich in Wasser, werden

---

1) Die Kleberbildung beruht darauf, dass das Mehl mit Wasser angerührt, einen Teig bildet, aus welchem man unter Wasser das Amylum auskneten kann, während die Proteinstoffe als gelblich-graue Masse zurückbleiben. Das Weizenmehl ist in der Regel der Kleberbildung fähig. Ritthausen (vgl. Eiweisskörper, S. 70) hat aber einige kleberfreie Weizenmehlsorten unter Händen gehabt. Aus Roggenmehl ist kein Kleber darzustellen.

aber leicht von Weingeist und von Wasser, das sehr wenig Säure oder freies Alkali enthält, aufgenommen.

1. Das Gluten-Fibrin findet sich namentlich im Weizen, der Gerste und dem Mais. In dem ersteren bildet es gemeinsam mit Gliadin, Mucedin und Gluten-Casein den Kleber. Die Darstellung des Gluten-Fibrins ist mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Das Gluten-Fibrin ist unlöslich in Wasser. Wenn sich der Eiweisskörper längere Zeit mit Wasser in Berührung befindet, so erleidet er eine eigenthümliche Modification und ist nun nicht mehr löslich in Weingeist, sowie in verdünnten Säuren und Kaliwasser. Wenn man verdünnte Lösungen des Gluten-Fibrins concentrirt, oder wenn man in der Wärme bereitete concentrirtere Lösungen erkalten lässt, so scheiden sich an der Oberfläche dicke, weiche Häute ab, die, hinweggenommen, sich immer wieder erneuern. Dies Verhalten ist charakteristisch für Gluten-Fibrin; weder Gliadin noch Mucedin zeigen dasselbe. Das Gluten-Fibrin aus Weizen zeigt die folgende Zusammensetzung:

C	54.3
H	7.2
N	16.9
O	20.6
S	1.0 [1]

2. Das Gliadin oder der Pflanzenleim findet sich z. B. im Weizen. In Wasser löst sich der Leim in geringen Mengen auf. Alkohol löst ihn nicht sehr schwer; von verdünnten Säuren und Kaliwasser wird er leicht aufgenommen. Das Gliadin enthält 52—53 % Kohlenstoff, 18—19% Stickstoff und etwa 1% Schwefel.

3. Das Mucedin ist im Weizen, im Roggen und in der Gerste nachgewiesen worden. Das Mucedin ist schwierig in Wasser löslich, wird aber von der Flüssigkeit doch weit leichter als der Leim aufgenommen. Von Weingeist und namentlich von verdünnten Säuren und Alkalien wird die in Rede stehende Substanz leicht aufgenommen. Die procentische Zusammensetzung des Mucedins verschiedener Abstammung ist, wie die folgenden Angaben zeigen, ziemlich genau dieselbe. I Mucedin aus Weizen, II Mucedin aus Roggen, III Mucedin aus Gerste:

1) Dem Gluten-Fibrin aus Weizen sehr ähnlich ist das Gluten-Fibrin aus Maissamen.

	I.	II.	III.
C	54.1	53.6	54.0
H	6.9	6.8	7.0
N	16.6	16.8	17.0
O	21.5	22.3	21.3
S	0.9	0.5	0.7

Es ist wohl gewiss, dass unsere Anschauungen über die Eiweisskörper durch weitere Forschungen noch vielfache Veränderungen erfahren werden. Immerhin aber haben die mit grösster Sorgfalt ausgeführten Untersuchungen Ritthausens ein einigermassen festes Fundament geschaffen, auf dem weiter gebaut werden kann [1]). Vor der Hand scheinen sich allerdings der Erforschung der wahren Natur der Proteinstoffe unüberwindliche Schwierigkeiten in den Weg zu stellen.

Aus den vorstehenden kurzen Angaben ist ersichtlich, dass die Samen der Getreidearten sehr verschiedene Proteinstoffe enthalten können. Namentlich finden wir im Weizenkorn Substanzen aus allen drei Gruppen der Proteinstoffe aufgespeichert. Legumin findet man nur selten in Getreidesamen; lediglich der Hafer enthält diese Verbindung [2]). Die Hülsenfrüchte sind sehr reich an Legumin; demselben gesellt sich zumal noch wenig Albumin zu. Die Oelsamen, so weit sie bis jetzt untersucht sind, enthalten dagegen kein Legumin, sondern nur Eiweiss oder Gluten-Casein. In den Lupinen und Mandeln endlich findet sich vorwiegend ein vom Legumin und Gluten-Casein nach Zusammensetzung und Eigenschaften etwas verschiedener Proteinkörper, das Conglutin.

Schliesslich dürfte es nicht überflüssig sein, mit wenigen Worten die Zersetzungsproducte, welche Proteinstoffe unter verschiedenen Umständen liefern, namhaft zu machen, denn dadurch wird Licht über die Beziehungen der Eiweisskörper zu andern chemischen Verbindungen verbreitet.

1) Selbst den Angaben Ritthausen's gegenüber sind allerdings manche Bedenken zu erheben. So z. B. kann die Frage wohl nicht von der Hand gewiesen werden, ob Legumin, Conglutin und Gluten-Casein wirklich, wie Ritthausen will, ganz verschiedene chemische Individuen repräsentiren, oder ob sie identischer Natur sind. Gewiss aber geht Hoppe-Seyler (vgl. dessen physiologische Chemie, 1877, 1. Theil, S. 76) viel zu weit, wenn er behauptet, dass Ritthausen's Präparate Zersetzungsproducte gewesen wären und nichts mehr mit den ursprünglichen Proteinstoffen der Samen gemein gehabt hätten. Diese Angriffe hat Ritthausen übrigens selbst zurückgewiesen (vgl. Pflüger's Archiv f. d. gesammte Physiologie, 1877, B. 15. S. 269).

2) Vgl. über die verschiedenen Proteinstoffe der Getreidesamen die Zusammenstellungen bei Ritthausen, Eiweisskörper, S. 136.

Durch die Fäulniss der Proteinstoffe werden bedeutende Mengen flüchtiger Fettsäuren, Ammoniak, Schwefelammonium, sowie Leucin und Tyrosin etc. erzeugt.

Bei der Behandlung mit Brom und Wasser liefern die Proteinstoffe neben Kohlensäure: Bromanil, Tribromamidobenzoesäure, Bromoform, Bromessigsäure, Dibromessigsäure, Brombenzoesäure, Capronsäure, Oxalsäure, Asparaginsäure, Malaminsäure, Leucinimid und Ammoniak.

Schützenberger[1]) hat gefunden, dass bei längerem Erhitzen des Eieralbumins mit Baryt auf 150 °C. die folgenden Stoffe entstehen[2]):

1. Glieder der Amidosäurenreihe $C_nH_{2n}+1NO_2$.
   Amidopropionsäure,
   Amidobuttersäure,
   Amidovaleriansäure,
   Amidocapronsäure,
   Amidoönanthylsäure.
2. Glieder aus der Amidoreihe $C_nH_{2n}-1NO_4$.
   Asparaginsäure,
   Glutaminsäure.
3. Amidoderivate der Acrylsäurereihe.
4. Tyrosin.
5. Harnstoff[3]).
6. Eine dextrinartige Substanz in sehr geringen Mengen.

Bei der Behandlung thierischer sowie pflanzlicher Proteinstoffe mit kochender Salzsäure und Zinnchlorür sollen nach Hlasiwetz und Habermann[4]) Glutaminsäure, Asparaginsäure, Leucin, Tyrosin und Ammoniak als alleinige (?) Zersetzungsproducte auftreten. Die beiden genannten Forscher vermuthen, dass Asparaginsäure und Glutaminsäure nicht als nähere Bestandtheile im Eiweissmolekül vorkommen, sondern dass diese beiden Körper, sowie das

1) Schützenberger, Chem. Centralblatt. 1875. S. 614, 631, 648 etc.

2) Das Pflanzenalbumin wird gewiss dieselben oder ähnliche Spaltungsproducte wie das Eieralbumin liefern.

3) Harnstoff hat Schützenberger allerdings nicht direct bei der Zersetzung der Proteinstoffe erhalten, er schliesst aber doch auf die Existenz einer Harnstoffgruppe im Eiweissmolekül, weil Kohlensäure und Ammoniak beim Erhitzen des Albumins mit Barythydrat in ziemlich genau demselben Verhältnisse auftreten, in welchem sie sich beim Erhitzen des Harnstoffes mit Alkalien bilden.

4) Vgl. Hlasiwetz und Habermann, Journal f. prak. Chem. Neue Folge. B. 7, S. 397.

Ammoniak als Zersetzungsproducte des aus den Proteinstoffen entstandenen Asparagins und Glutamins aufzufassen sind.

Wenn Proteinstoffe mit kräftig wirkenden Oxydationsmitteln behandelt werden, so entsteht eine grosse Zahl von Zersetzungsproducten; namentlich bilden sich Fettsäuren, Aldehyde und stickstoffhaltige Körper. Bei der Oxydation des Klebers mittelst Schwefelsäure und Mangansuperoxyd wurden z. B. erhalten: Aldehyd der Essigsäure, der Propionsäure, der Benzoesäure, ferner Ameisensäure, Essigsäure, Buttersäure und Stickstoffverbindungen.

Ueber die Quantitäten von Glutaminsäure und Asparaginsäure, welche bei der Einwirkung von Schwefelsäure auf Proteinstoffe entstehen, hat Ritthausen Untersuchungen angestellt[1]).

Legumin liefert bei Behandlung mit Schwefelsäure von den Pflanzen-Caseinen die grösste, Gluten-Casein die geringste Menge Asparaginsäure, während letzteres die grösste, ersteres die kleinste Menge Glutaminsäure giebt. Conglutin steht in Bezug auf die Quantität der Säuren, welche aus ihm entstehen, zwischen diesen beiden Formen des Caseins.

	Legumin.	Conglutin.	Gluten-Casein.
Glutaminsäure	1.5	4.0	5.3 %
Asparaginsäure	3.5	2.0	0.33 „

Werden Kleberproteinstoffe mit Schwefelsäure behandelt, so entstehen Tyrosin und Leucin, letzteres jedoch in verhältnissmässig geringen Mengen. Ferner bilden sich bedeutende Glutaminsäure- und geringe Asparaginsäurequantitäten.

	Glutaminsäure.	Asparaginsäure.
Kleber (in Weingeist lösliche Bestandtheile)	8.8	1.1 %
Mucedin	25.0	nicht bestimmt
Maisfibrin	10.0	1.4 %.

Manche Samen enthalten, abgesehen von den genannten Stoffen, stickstoffhaltige Verbindungen, die nicht der Gruppe der Proteinstoffe angehören. Als solche Körper sind z. B. zu nennen: Nicotin, Theobromin, Coffein, Strychnin, Brucin, Veratrin. Es ist noch nicht festgestellt, ob diese Körper von Bedeutung für den Verlauf der Keimung sind, und aus diesem Grunde erscheint es nicht erforderlich, ihnen weitere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Da-

1) Vgl. Ritthausen's Zusammenstellungen in dem Werke über die Eiweisskörper. S. 231.

gegen müssen wir uns mit einigen anderen Substanzen eingehender befassen.

Zunächst sei des Amygdalins, eines zu den Glykosiden gehörenden Körpers, dessen Zusammensetzung durch die Formel $C_{20}H_{27}NO_{11}$ ausgedrückt werden kann, Erwähnung gethan. Die Verbindung ist bekanntermassen in den Fruchtkernen von Amygdalus communis L., var. amara enthalten[1]), sie kommt aber ebenfalls in den Fruchtkernen von Amygdalus persica, von Prunus Laurocerasus, von Prunus domestica etc. vor[2])[3]).

Namentlich haben Wöhler und Liebig[4]) sich mit sehr eingehenden Studien über das Amygdalin beschäftigt. Sie fanden, dass bittere Mandeln etwa 2 Gewichtsprocent an Amygdalin enthalten. Nach Wöhler und Liebig kocht man die durch starkes Auspressen vom Oel befreite Kleie der bitteren Mandeln zur Darstellung des Amygdalins zweimal mit 95 procentigem Weingeist aus, lässt den Auszug zur Aussonderung von noch beigemengtem Oel einige Tage stehen, filtrirt, destillirt $^5/_6$ des Weingeistes ab und mischt den Destillationsrückstand mit seinem halben Volumen Aether, wodurch alles Amygdalin niedergeschlagen wird. Die Substanz wird stark zwischen Fliesspapier gepresst, zur Entfernung anhängenden Oels anhaltend mit Aether gewaschen und endlich aus kochendem Weingeist krystallisirt. Aus 80 procentigem Weingeist krystallisirt das Amygdalin in farblosen, perlglänzenden Schuppen. Die Substanz ist leicht löslich in heissem Wasser, wird aber ebenfalls von kaltem Wasser aufgenommen; sie besitzt keinen Geruch, zeigt aber einen schwach bitteren Geschmack.

Durch die Einwirkung gewisser Reagentien auf Amygdalin kann die Bildung von Benzoesäure, Mandelsäure, Amygdalinsäure etc. erfolgen. Die bezüglichen Vorgänge sind aber von keinem besonderen Interesse für uns. Dagegen ist die Thatsache wichtig,

---

1) Die süssen Mandeln enthalten kein Amygdalin.

2) Man vgl. die Literaturnachweisungen bei A. und Th. Husemann: Die Pflanzenstoffe. 1871. S. 684.

3) Bemerkt muss hier noch werden, dass die Samen von Vicia sativa und Ricinus communis nach Ritthausen (vgl. Die Eiweisskörper, S. 168 und 187) wahrscheinlich Amygdalin enthalten. Das Pulver der Samen entwickelt beim Befeuchten mit Wasser einen deutlichen Geruch nach Blausäure, und wenn es auch nicht gelungen ist, Amygdalin in reinem Zustande aus den Untersuchungsobjecten abzuscheiden, so darf dennoch wohl angenommen werden, dass die Samen jene Substanz enthalten. In den Ricinussamen findet sich entschieden ein grösseres Quantum Amygdalin als in den Wickensamen vor.

4) Wöhler und Liebig, Annal. d. Chem. und Pharm. B. 22, S. 1.

dass das Amygdalin in Berührung mit Emulsin und Wasser unter Aufnahme der Elemente des Wassers in Blausäure, Bittermandelöl und Zucker zerfällt[1]). Der Vorgang lässt sich durch die folgende Formelgleichung zum Ausdruck bringen:

$$C_{20}H_{27}NO_{11} + 2H_2O = 2(C_6H_{12}O_6) + C_7H_6O + CNH.$$

Die Zerlegung erfolgt nur bei Gegenwart einer genügenden Wassermenge und am schnellsten bei 20—30° C. Zusatz von Weingeist oder Aether, sowie von starken Basen oder Säuren verlangsamt die Wirkung des Emulsins. Dieser Körper vermag überdies nur dann auf das Amygdalin einzuwirken, wenn er im frischen Zustande und in Lösung mit dem letzteren in Berührung gelangt.

Das Emulsin, dieses Ferment, welches jene merkwürdige Wirkung auf Amygdalin ausübt, besitzt Aehnlichkeit mit Proteinstoffen. Es findet sich sowohl in den bitteren als auch in den süssen Mandeln vor und kann daraus in Form einer weissen, bröckelichen Masse abgeschieden werden. In Wasser ist das Emulsin löslich. Kocht man diese Lösung, so ist sie nicht mehr im Stande, Amygdalin zu spalten. Auch das durch Behandlung mit kochendem Weingeist unlöslich gewordene Emulsin wirkt nicht mehr auf Amygdalin ein. Dagegen bleibt das Emulsin durchaus wirkungsfähig, wenn man dasselbe im trockenen Zustande auf 100° C. erhitzt. Die procentische Zusammensetzung des Emulsins ist nach Streckers Angabe die folgende[2]):

Kohlenstoff	42.9
Wasserstoff	7.1
Stickstoff	11.5
Sauerstoff	37.3
Schwefel	1.2

Ein ferneres Glykosid ist die Myronsäure. Die Substanz enthält Schwefel und besitzt die Formel $C_{10}H_{19}NS_2O_{10}$. Die Myronsäure ist in Verbindung mit Kalium in den schwarzen Senfsamen enthalten, und man kann dieselbe in folgender Weise aus diesen darstellen. Gepulverte schwarze Senfsamen werden zunächst, um das in denselben vorhandene Ferment unwirksam zu machen, mit Weingeist zum Sieden erhitzt, hierauf abgepresst und mit kaltem Wasser extrahirt. Den wässerigen Auszug engt man unter Zusatz von kohlensaurem Baryt im Wasserbade zum Syrup ein.

1) Die Ameisensäure, welche sich bildet, wenn Emulsin auf Amygdalin bei Gegenwart von Wasser einwirkt, ist wohl als secundäres Umwandlungsproduct anzusehen.

2) Vgl. Strecker: Kurzes Lehrbuch der Chemie. 1867. B. 2. S. 849.

Der Syrup wird mit kochendem, 85procentigem Weingeist behandelt, und man kann aus der gewonnenen Lösung myronsaures Kalium in kleinen seidenglänzenden Nadeln abscheiden. Das Salz ist in Wasser sehr leicht löslich, dagegen fast unlöslich in wasserfreiem Alkohol und Aether. Die Myronsäure lässt sich aus der Kaliumverbindung mit Hülfe von Weinsäure abscheiden; sie zerfällt aber sehr leicht.

Wenn man einen wässerigen Auszug aus schwarzen Senfsamen herstellt, so zeigt derselbe sogleich einen Geruch nach Senföl. In den Senfsamen ist nämlich ein Ferment, das Myrosin, enthalten, welches zersetzend auf die Myronsäure einwirkt [1]). Das myronsaure Kalium wird nämlich in Berührung mit Myrosin in Senföl, Traubenzucker und saures schwefelsaures Kalium gespalten:

$$C_{10}H_{18}KNS_2O_{10} = C_4H_5NS + C_6H_{12}O_6 + KHSO_4.$$

Gleichzeitig wird ein wenig Schwefel abgeschieden, indem sich etwas Allylcyanid bildet.

Bemerkt sei noch, dass Emulsin nicht im Stande ist, das myronsaure Kalium zu zerlegen [2]).

Beachtung verdienen ferner gewisse stickstoffhaltige Verbindungen, die sich in den Lupinensamen vorfinden. Eichhorn gelang es zuerst, aus den Samen von Lupinus angustifolius einen Körper von stark alkalischer Reaction und sehr bitterem Geschmack, den er Lupinin nennt, darzustellen [3]). Die Substanz wurde von Eichhorn als spröde, gummiartige, hellgelbe Masse ohne jegliche Krystallisation gewonnen. Das schwefelsaure Salz der alkaloidischen Verbindung wurde in schönen, farblosen, tafelförmigen Krystallen, die eine Grösse bis zu 10 Mm. besassen, erhalten. Eichhorn fand in seinem Lupinin 8.38 $^0/_0$ Stickstoff.

Siewert hat die Bitterstoffe der Lupinensamen genauer untersucht [4]). Er behandelte grössere Quantitäten der Samen zur Extraction derselben mit verdünnter Salzsäure. Die Auszüge wurden mit phosphormolybdänsaurem Natron versetzt, um die Bitterstoffe aus den Lösungen niederzuschlagen. Nach dem Auspressen der Niederschläge wurden dieselben in warmem Wasser vertheilt und

1) Myrosin ist sowohl in den schwarzen als auch in den weissen Senfsamen enthalten. Das Myrosin besitzt äusserlich grosse Aehnlichkeit mit dem Emulsin.

2) Man vgl. auch die Angaben von A. und Th. Husemann über die Myronsäure und das Myronsin in ihrem Werke über die Pflanzenstoffe, S. 765 und 768.

3) Vgl. Eichhorn, Versuchsstationen. B. 9. S. 272.

4) Vgl. Siewert: Ebendaselbst. B. 12. S. 306 und 321.

bei 40—50 °C. mit Barythydrat zersetzt. Nach dem Abfiltriren der Lösung, dem Einleiten von Kohlensäure in dieselbe und dem Abfiltriren des kohlensauren Baryts musste die verdünnte, bitter schmeckende Lösung das durch Phosphormolybdänsäure gefällte Alkaloid der Lupinensamen enthalten.

Das Alkaloid ist nun aber in der Lösung mit Mineralstoffen verbunden vorhanden. Durch Zusatz von Natronlauge zu der Flüssigkeit kann man es von diesen trennen. Schüttelt man die Flüssigkeit dann mit Aether aus, so wird das Alkaloid von diesem aufgenommen. Im Laufe seiner Untersuchungen fand Siewert, dass es viel einfacher gelingt, die Bitterstoffe aus den Lupinensamen abzuscheiden, wenn man den salzsauren Auszug aus den Samen concentrirt, dann Natronlauge hinzufügt und das Alkaloid mit Aether ausschüttelt. Mag man die ätherische Lösung auf die eine oder die andere Weise dargestellt haben, so liefert der Rückstand nach der Verdunstung des Lösungsmittels bei der Destillation im Wasserstoffstrome verschiedene Producte. Bei der Destillation der Bitterstoffe eines ganzen Centners Lupinen wurden erhalten bei

	216° C —	4 Grm.
	221—235° „ —	4 „
	262—264° „ —	98 „
	267—274° „ —	43 „
	274—284° „ —	43 „
	284—288° „ —	23 „
theerähnlicher Rückstand in der	Retorte —	25 „
	Summa	240 Grm.

Es würde uns zu weit führen, wollten wir die Ergebnisse, welche Siewert bei der Untersuchung der Destillationsproducte erhielt, im Einzelnen mittheilen. Wir beschränken uns darauf, anzuführen, in welcher Weise der Experimentator selbst die Resultate seiner Beobachtungen zusammenfasst:

„1. In dem Bitterstoff der Lupine ist der Hauptsache nach eine krystallisirbare Base $C_{10}H_{21}NO$ enthalten, welche bei 261° C. siedet und kein vertretbares Wasserstoffatom enthält.“ (Siewert bezeichnet die Base als Dimethylconhydrin[1]).

„2. Es ist wahrscheinlich, dass der nicht krystallisirbare

1) Conhydrin ist eine dem Coniin verwandte Substanz. Beide Körper kommen gemeinsam in den Blüthen und Samen von Conium maculatum vor.

Theil des Bitterstoffes, der bei 306—310° C. siedet, aus einem Gemenge mehrerer Basen ($C_7H_{15}NO$ und $C_8H_{17}NO$) besteht."

„3. Ob kleine Mengen Coniin oder Methylconhydrin ursprünglich vorhanden sind, bleibt ungewiss."

Während Eichhorn der erste war, der den Bitterstoff der Lupinen isolirte, zeigte Siewert, dass Eichhorns Lupinin als ein Gemisch mehrerer Körper, die der Coniingruppe angehören, aufzufassen sei. Beyer [1]) bestätigte die Richtigkeit dieser Angaben, aber er kam insofern bei seinen Arbeiten zu Ergebnissen, die nicht mit den von Siewert gewonnenen im Einklange stehen, als er die Formeln von zwei Alkaloiden, die er aus den Lupinensamen abschied, $= C_{17}H_{36}N_2O_2$ und $C_{10}H_{23}NO_2$ berechnete [2]). Es müssen noch weitere Untersuchungen über die Alkaloide der Lupinen angestellt werden, und man hat bei ferneren Arbeiten namentlich die Frage ins Auge zu fassen, um eine Uebereinstimmung in den Ergebnissen zu erzielen, ob die bis jetzt benutzten Methoden der Gewinnung der Alkaloide als durchaus zweckmässig zu betrachten sind, und ob die Bitterstoffe der verschiedenen Lupinenarten identischer Natur sind oder nicht [3]).

Es ist bekannt, und wir werden weiter unten Gelegenheit haben, eingehend darauf hinzuweisen, dass man sich in neuerer Zeit vielfach mit Untersuchungen über das Vorkommen und das Verhalten des Asparagins im vegetabilischen Organismus beschäftigt hat. Bei Gelegenheit dieser Untersuchungen ist constatirt worden, dass verschiedene ruhende Samen eine Substanz enthalten, die bei der Behandlung mit bromirter Lauge unmittelbar freien Stickstoff liefert. Asparagin enthalten ruhende Samen nachgewiesener Massen höchst selten, und überdies liefert dieser Körper in Berührung mit bromirter Lauge nicht direct freien Stickstoff [4]). Wir haben es hier

1) Vgl. Beyer, Versuchsstationen, B. 10, S. 518 und B. 14, S. 168.

2) Beyer (vgl. Versuchsstationen B. 9, S. 171) hatte bereits früher angegeben, dass die Bitterstoffe der Lupinen in Berührung mit Jod eine prächtig rothbraune Färbung annehmen. Es kann diese Reaction zur mikrochemischen Nachweisung der Lupinenbitterstoffe benutzt werden.

3) Auch die Ergebnisse der neueren Untersuchungen von H. C. E. Schulz (landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 8, S. 37) entscheiden die Frage nach der Natur der Lupinenalkaloide noch nicht vollkommen. Uebrigens stimmen die Resultate, zu denen Schulz gelangt ist, in mehr als einer Beziehung mit den von Siewert gewonnenen überein.

4) Eine Flüssigkeit, die Asparagin enthält, liefert erst in Berührung mit bromirter Lauge freien Stickstoff, wenn sie vorher mit Salzsäure gekocht worden ist, indem sich das Asparagin dabei in Asparaginsäure und Ammoniak spaltet.

also mit einer stickstoffhaltigen Verbindung in den Samen zu thun, deren Natur vor der Hand nicht genauer bekannt ist. Der Gehalt der Samen an dieser Substanz ist übrigens ein nur sehr geringer; dies geht aus den Angaben von Sachsse[1]), der mit Erbsen experimentirte[2]), und von Laskovsky[3]), welcher Kürbissamen zu seinem Untersuchungsobjecte wählte, deutlich hervor. Bemerkt muss noch werden, dass nicht alle Samen die hier in Rede stehende Substanz enthalten. Ich habe z. B. nachweisen können, dass dieselbe im Samen von Zea Mays fehlt[4]).

Ritthausen hat aus den Samen von Vicia sativa eine stickstoffhaltige Substanz in Krystallen dargestellt[5]), die allerdings nur in geringen Mengen in den Untersuchungsobjecten enthalten ist[6]). Aus den analytischen Resultaten berechnete Ritthausen für die Verbindung die Formel $C_8H_{16}N_3O_6$. Der Körper löst sich wenig in kaltem, leicht in warmem Wasser; er ist völlig geschmacklos und zeigt eine sehr schwach alkalische Reaction. Mit dem Asparagin ist die Verbindung aus den Wickensamen, wie Ritthausen fernerhin nachgewiesen hat, nicht identisch.

Sehr interessant ist schliesslich noch die Entdeckung von Gorup-Besanez[7]), dass die Wickensamen ein stickstoff- und schwefelhaltiges Ferment führen, welches grosse Aehnlichkeit mit dem Pepsin des Magensaftes besitzt, ja vielleicht mit diesem Körper identisch ist. Da überdies nicht nur Wicken, sondern ebenfalls andere Samen etc. Fermente enthalten[8]), die mit demjenigen von Gorup-Besanez aus Wicken dargestellten wohl identisch sind, so können wir die in Rede stehende Substanz kurzweg als Pflanzenpepsin bezeichnen[9]). Gorup-Besanez hat das

1) Vgl. Sachsse, Versuchsstationen. B. 16, S. 66.

2) Ich habe ebenfalls constatiren können, dass die Samen von Pisum sativum einen Körper enthalten, der ohne vorherige Behandlung mit Salzsäure in Berührung mit bromirter Lauge Stickstoff ausgiebt. Als Ammoniak ist diese Substanz aber, wie ich fand, nicht anzusprechen.

3) Vgl. Laskovsky, Versuchsstationen. B. 17, S. 242.

4) Vgl. meine physiologisch-chemischen Untersuchungen über die Keimung ölhaltiger Samen und die Vegetation von Zea Mays. 1875. S. 78.

5) Vgl. Ritthausen: Die Eiweisskörper. S. 168.

6) Ritthausen erhielt aus 1 Kilo Samen nur ca. 1 Grm. reiner Substanz.

7) Vgl. Gorup-Besanez: Neues Repertorium für Pharmacie. 1875. B. 24. S. 44.

8) Gorup-Besanez isolirte ebenfalls aus Hanf- und Leinsamen, sowie aus gekeimter Gerste solche Fermente. (M. vgl. Berichte d. deutschen chem. Gesell. 1875, S. 1510).

9) Das Pepsin des Magensaftes ist nicht als Eiweisskörper anzusehen. Man

Pflanzenpepsin unter Benutzung einer Methode, die man ebenfalls zur Isolirung des Pepsins aus dem Magensafte in Anwendung gebracht hat, dargestellt.

Die Samen wurden zunächst mit starkem Alkohol behandelt, dieser dann entfernt, um die Untersuchungsobjecte jetzt längere Zeit mit Glycerin in Berührung zu lassen. Der Extract wurde colirt und tropfenweise in ein Gemisch von 8 Th. Alkohol und 1 Th. Aether eingetragen. Es entstand ein Niederschlag, der nach dem Abfiltriren und Waschen mit Alkohol wieder in Glycerin aufgelöst wurde. Mit der Lösung wurde wie soeben angegeben verfahren; es entstand nun in dem Alkohol-Aether ein schön weisser Niederschlag, der beim Trocknen eine hornige Beschaffenheit annahm. Die Substanz erwies sich als eine in Wasser lösliche. Es zeigte sich bei bezüglichen Versuchen, dass das isolirte Ferment im Stande war, Eiweissstoffe (Fibrin) in Peptone umzuwandeln [1]).

Wir haben hier, abgesehen von den Proteinstoffen, eine Reihe stickstoffhaltiger Verbindungen der Samen namhaft gemacht, deren physiologische Bedeutung für den Keimungsprocess allerdings noch nicht genügend aufgeklärt ist. Jedem Fachmann ist bekannt, dass wir in den verschiedenen Samen noch vielen anderen stickstoffhaltigen Körpern begegnen, deren Bedeutung für den Organismus der Pflanzen aber fast gänzlich unbekannt ist, und denen wir auch deshalb hier keine weitere Berücksichtigung schenken wollen. Alle diese Substanzen besitzen zweifelsohne eine Bedeutung für den physiologischen Process bei der Keimung, und was die erwähnten Glykoside etc. anbelangt, so ergeben sich aus unseren Anführungen bereits verschiedene Gesichtspunkte, die in dieser Hinsicht von Interesse sein dürften. Die Thatsache, dass Amygdalin und Myronsäure unter bestimmten Umständen Zucker liefern, ist entschieden von physiologischem Interesse [2]); ganz besonders aber verdienen die Resultate der zuletzt berührten Untersuchungen von Go-

---

vgl. darüber das Lehrbuch der Physiologie von Funke. 5. Auflage. 1869. S. 121. Das Pflanzenpepsin wird somit ebenfalls wohl kein Proteinstoff sein.

1) Nach Gorup-Besanez ist das Pflanzenpepsin ebenfalls im Stande, Stärke in Zucker und Dextrin zu zerlegen. Sollten weitere Forschungen, wie wahrscheinlich ist, ergeben, dass das Ferment der Samen als ein Gemenge verschiedener Fermente aufzufassen ist, so dürfte man natürlich nur die peptonbildende Substanz als Pflanzenpepsin bezeichnen.

2) Der Zucker kann zur Bildung neuer stickstofffreier Verbindungen Verwendung finden.

rup Besanez Beachtung, und wir werden deshalb weiter unten noch eingehender auf dieselben zurückkommen müssen [1]).

Zweites Capitel.

Das Verhalten des Stickstoffs bei der Keimung.

Es ist bekannt, dass die Proteinstoffe bei der Keimung der Samen verschiedene Metamorphosen und Zersetzungen erfahren. Offenbar liegt die Möglichkeit vor, dass die Eiweisskörper, wenn sie den angedeuteten Processen anheimfallen, normalerweise einen Theil ihres Stickstoffs verlieren, und dass dieser dann entweder als solcher oder in Verbindung mit Wasserstoff in Form von Ammoniak abgeschieden wird. Auf der anderen Seite liegt die Möglichkeit vor, dass Samenbestandtheile bei der Keimung gewisse Quantitäten des freien atmosphärischen Stickstoffs absorbiren und chemisch binden. Die Fragen, welche zu den berührten Verhältnissen in Beziehung stehen, sind von den Pflanzenphysiologen bereits oft und eingehend ventilirt worden; trotzdem aber bietet sich dem Forscher auch hier noch ein ziemlich weites Arbeitsfeld dar.

Zunächst handelt es sich für uns darum, festzustellen, ob Samen bei der Keimung freien Stickstoff ausgeben, oder ob dies nicht der Fall ist.

Zur Entscheidung der aufgeworfenen Frage kann man sich verschiedener Methoden bedienen. Man kann die Samen in einem limitirten Luftvolumen zur Keimung bringen und feststellen, ob die absolute Stickstoffquantität des gegebenen Luftvolumen zugenommen hat, oder man kann derartig verfahren, dass man den absoluten Stickstoffgehalt einer bestimmten Samenmenge sowie denjenigen einer entsprechenden Quantität von Keimungsproducten bestimmt, um die gewonnenen Resultate schliesslich mit einander zu vergleichen. Diese letztere Methode ist von der Mehrzahl der Forscher in Anwendung gebracht worden, und bereits Boussingault hat sich ihrer vor längerer Zeit bedient [2]).

---

1) Während man früher glaubte, dass die Diastase, dieses stickstoffhaltige Ferment, welches im Stande ist, das Amylum im Dextrin und eine Zuckerart zu spalten, nur in gekeimten Samen vorkomme, hat sich neuerdings gezeigt, dass der genannte Körper ebenfalls ein Bestandtheil ruhender Samen ist. Will und Krauch (vgl. Versuchsstationen, B. 23, S. 77) fanden, dass Piniensamen, Mais- und Gerstenkörner, sowie Kürbissamen Fermente enthalten, die diastatisch, nicht aber peptonbildend zu wirken vermögen. Die diastatische Wirkung der Fermente der ruhenden Samen ist aber keine so energische, wie diejenige der Fermente aus Keimpflanzen.

2) Vgl. Boussingault, Comptes rendus. T. 58. p. 881.

Boussingault liess 10 Erbsensamen fast 2 Monate lang bei Lichtabschluss vegetiren. Die Untersuchungen lieferten die folgenden Resultate:

		Stickstoffgehalt.
Samentrockensubstanz	= 2.237 Grm.	0.094 Grm.
Keimpflanzentrockensubstanz	= 1.076 „	0.072 „
Verlust	= 1.161 Grm.	0.022 Grm.

46 Weizenkörner entwickelten sich fast 2 Monate lang bei Abschluss des Lichts.

		Stickstoffgehalt.
Samentrockensubstanz	= 1.665 Grm.	0.057 Grm.
Keimpflanzentrockensubstanz	= 0.713 „	0.057 „
Verlust	= 0.952 Grm.	—

Ein Maiskorn vegetirte 3 Wochen lang bei Lichtabschluss.

		Stickstoffgehalt.
Samentrockensubstanz	= 0.5292 Grm.	0.0086 Grm.
Keimpflanzentrockensubstanz	= 0.2900 „	0.0087 „
Verlust	= 0.2392 Grm.	+ 0.0001 Grm.

Handelt es sich darum, die Frage nach dem Verhalten des Stickstoffs bei der Keimung zu entscheiden, so ist es vor allen Dingen erforderlich, dafür Sorge zu tragen, dass die Untersuchungsobjecte sich durchaus normal entwickeln und in keiner Weise Fäulnissprocessen anheimfallen. Die Erbsen, so giebt Boussingault selbst an, faulten zum Theil, und der constatirte Stickstoffverlust der Untersuchungsobjecte erklärt sich deshalb leicht. Die Weizen- und Maiskeimlinge entwickelten sich hingegen durchaus normal; ein Stickstoffverlust war nicht zu beobachten.

Schröder[1]) und Karsten[2]) geben an, dass Schminkbohnen bei der Keimung Stickstoff verlieren. Die Untersuchungen des zuletzt genannten Forschers verdienen zumal auch deshalb Beachtung, weil er betont, dass der Stickstoffverlust im Dunkeln keimender Bohnen geringer ausfalle, als derjenige der bei Lichtzutritt cultivirten Untersuchungsobjecte. Karsten hat seine Beobachtungen mit ausserordentlicher Sorgfalt durchgeführt, und die Resultate derselben sind in mehr als einer Hinsicht von Interesse. Für die hier in Rede stehenden Fragen bringen Karstens Arbeiten aber keine Entscheidung und zwar vor allen Dingen deshalb nicht, weil der Experimentator zur Feststellung des Verhaltens des Stickstoffs eine unzureichende Methode in Anwendung

1) Vgl. Schröder, Versuchsstationen. B. 10. S. 493.
2) Vgl. Karsten: Ebendaselbst. B. 13. S. 193.

brachte. Karsten erntete die Keimpflanzen nach bestimmten Zeiten, zerlegte sie in ihre einzelnen Organe, bestimmte den Trockensubstanzgehalt derselben und stellte den Stickstoffgehalt der Producte fest. Die gewonnenen Ergebnisse dienten dann als Grundlage zur Berechnung des Stickstoffgehalts der Gesammternte. Das Endresultat war also abhängig von den Ergebnissen vieler Trockensubstanz- sowie Stickstoffbestimmungen, und der Werth desselben wird somit ein sehr zweifelhafter.

Die Forscher, welche sich neuerdings mit dem Verhalten des Stickstoffs bei der Keimung beschäftigt haben, sind fast sämmtlich der Ansicht, dass die Pflanzen bei normaler Entwickelung keinen Stickstoffverlust erleiden. Allerdings ist zu betonen, dass die Experimentatoren für den Stickstoffgehalt der Keimpflanzen häufig etwas geringere oder etwas höhere Werthe als für denjenigen der Samen feststellen konnten, aber die Differenzen fielen im Allgemeinen so gering aus, dass sie auf Rechnung unvermeidlicher Beobachtungsfehler geschoben werden mussten.

Sachsse[1]) liess Erbsen 184 Stunden lang auf Silberblech keimen und leitete einen constanten Luftstrom über die sich im Dunkeln entwickelnden Untersuchungsobjecte. In der folgenden kleinen Uebersicht ist unter I der procentische Stickstoffgehalt der ungekeimten Erbsen (auf Trockensubstanz bezogen) und unter II der procentische Stickstoffgehalt der Keimpflanzen angegeben. Die Zahlen unter III beziehen sich auf den procentischen Stickstoffgehalt, den die gekeimten Erbsen hätten zeigen müssen, wenn durchaus kein Stickstoffverlust eingetreten wäre.

I.	II.	III.
3.80 %	4.14 %	4.16 %
3.81 „	4.06 „	
3.83 „		

Ich habe den Nachweis geliefert, dass ebenfalls bei der Keimung fettreicher Samen kein erheblicher Stickstoffverlust erfolgt[2]). Eine gewisse Menge Hanfkörner entwickelte sich 7 Tage lang bei Abschluss des Lichtes. Der Trockensubstanzverlust, den die Untersuchungsobjecte erfuhren, betrug 3.09 %. In einem anderen Falle blieben die Samen 10 Tage lang den Versuchsbedingungen ausgesetzt und erlitten einen Trockensubstanzverlust von 5.97 %.

1) Vgl. Sachsse, Keimung v. Pisum sativum. Habilitationsschrift. Leipzig, 1872. S. 22.

2) Vgl. meine physiologisch-chem. Untersuchungen. 1875. S. 27.

Die Hauptresultate meiner Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

100	Thl.	Hanfkörner enthielten	4.01	Thl. N.
96.91	„	Keimungsproducte enthielten	3.84	„ „
94.03	„	„ „	3.92	„ „ [1]).

Es leuchtet ein, dass, wenn die bei der Keimung in den Samen verlaufenden chemischen Processe normalerweise zur Abscheidung von Stickstoff führten, der Stickstoffverlust mit fortschreitender Evolution des Embryo grösser werden müsste. Dies ist, wie die vorstehenden Zahlen zeigen, nicht der Fall, und es muss deshalb geschlossen werden, dass die Differenzen zwischen dem absoluten Stickstoffgehalte der Körner und demjenigen der Keimpflanzen ihren Ursprung lediglich gewissen nicht zu vermeidenden Beobachtungsfehlern verdanken. Zu einem gleichen Schlusse veranlassen mich die Resultate, welche ich bei der Untersuchung des Verhaltens des Stickstoffs bei der Keimung des Mais erhielt [2]). Bemerkt sei überdies, dass der Stickstoffverlust des keimenden Mais selbst dann ein nur sehr geringer ist, wenn die Untersuchungsobjecte sich selbst wochenlang entwickeln, und dass das Licht von keinem Einfluss auf die Stickstoffquantität, welche das Beobachtungsmaterial verliert, ist.

Beachtenswerthe Beiträge zur Lösung der hier in Rede stehenden Frage hat neuerdings Leclerc [3]) geliefert. Derselbe brachte Gerstenkörner in ein abgesperrtes Luftvolumen von genau bekannter Zusammensetzung. Entwickelten sich die Untersuchungsobjecte normal, so producirten sie nur Kohlensäure und Wasser; eine Vermehrung des Stickstoffs der abgeschlossenen Luftmenge trat nicht ein [4]). Leclerc hat ferner den absoluten Stickstoffgehalt von Gerstenkörnern einerseits und den gewonnenen Keimungsproducten andererseits festgestellt. Eine Versuchsreihe lieferte die folgenden Ergebnisse:

Stickstoff in 100 Thl. der Gerstenkörner		2.78 Thl. N.
Stickstoff in den Keimungsproducten, die 100 Thl. der Gerstenkörner entsprachen.	Nach 24 Stunden	2.90 „ „
	„ 30 „	2.72 „ „
	„ 48 „	2.84 „ „
	„ 48 „	2.82 „ „

1) Auch Rapssamen verlieren nach meinen Beobachtungen bei der Keimung nur sehr geringe Stickstoffmengen.

2) Vgl. meine physiolog.-chem. Untersuchungen. 1875. S. 68.

3) Vgl. Leclerc, Compt. rend. T. 80. S. 26.

4) Zu Ergebnissen, die mit denjenigen der Beobachtungen Leclercs nicht

Diese Zahlen scheinen mir von besonderer Bedeutung, denn sie lassen mit grosser Deutlichkeit erkennen, dass die Differenzen, welche zwischen dem Stickstoffgehalte der Körner und der Keimungsproducte constatirt worden sind, gewissen Beobachtungsfehlern ihren Ursprung verdanken, indem Leclerc in den Keimpflanzen bald etwas weniger, bald etwas mehr Stickstoff als in den ruhenden Gerstenfrüchten selbst fand [1]).

Die Resultate der meisten Beobachtungen unterstützen also unsere Ansicht, dass die Samen bei normaler Keimung keinen Stickstoffverlust erfahren, durchaus. Wenn man trotzdem in den Keimungsproducten nicht genau diejenige Stickstoffmenge, welche die ausgelegten Samen ursprünglich enthielten, wiederfindet, so erklärt sich dies einfach unter Berücksichtigung der Thatsache, dass bei der Ausführung der Untersuchungen gar nicht zu vermeidende Beobachtungsfehler gemacht werden. Aber noch ein anderes Moment, das sehr leicht Stickstoffverluste bei Keimungsversuchen herbeiführt, darf hier nicht übersehen werden. Es ist bekannt, dass die Proteinstoffe der Samen und Keimpflanzen sehr leicht Fäulnissprocessen anheimfallen. Die Zersetzung der Eiweissstoffe ist von einer Entbindung von Ammoniak, ja selbst von freiem Stickstoff begleitet.

Bereits Saussure [2]) hat auf die Bildung freien Stickstoffs bei der Fäulniss von Samen hingewiesen; König und Kiesow [3]) untersuchten die Stickstoffentstehung bei der Fäulniss neuerdings sehr eingehend. Die beiden zuletzt genannten Forscher stellten ihre Untersuchungen in der Weise an, dass sie Fleisch oder Knochenmehl in verschliessbare Flaschen brachten und dafür Sorge trugen, dass weder ein Zutritt von Stickstoff aus der Luft, noch ein Entweichen von Ammoniak aus den faulenden Massen in die Luft möglich war. Einige Versuche lieferten z. B. die folgenden Ergebnisse:

		Stickstoffmenge. Vor der Zersetzung. Grm.	Stickstoffmenge. Nach der Zersetzung. Grm.
1. Versuch (14. Juni bis 2. Novb.)	Knochenmehl	20.910	19.259
2. „ (13. Jan. bis 26. Sept.)	Fleisch	18.340	17.919 [4]).

übereinstimmen, gelangte M. Schulze. Vgl. Journal f. prakt. Chemie. 1862. B. 87. S. 129.

1) Aehnliches hat auch Laskovsky (Versuchsstationen, B. 17, S. 219) bei dem Studium des Verhaltens des Stickstoffs bei der Keimung der Kürbissamen constatiren können.

2) Vgl. Saussure, Journal f. prakt. Chm. B. 3. S. 143.

3) Vgl. König und Kiesow: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 2. S. 107.

4) Beachtung verdient die von König und Kiesow constatirte Thatsache,

Will man also bei Untersuchungen über das Verhalten des Stickstoffs bei der Keimung zu brauchbaren Resultaten gelangen, so ist es vor allen Dingen erforderlich, dafür Sorge zu tragen, dass die Keimpflanzen sich durchaus normal entwickeln und keinen Fäulnissprocessen anheimfallen [1]), denn die Fäulniss führt Zersetzungsvorgänge der Proteinstoffe herbei, die durchaus anderer Natur als diejenigen sind, welche die stickstoffhaltigen Körper bei normaler Keimung erfahren.

Wenden wir uns nunmehr der Frage zu, ob Samen bei normaler Keimung Ammoniak ausgeben, so ist zu bemerken, dass dieselbe im Wesentlichen bereits in dem Gesagten ihre Beantwortung gefunden hat. Auf alle Fälle werden — dies ist mit Bestimmtheit zu behaupten — nur sehr geringe Ammoniakmengen von keimenden Samen abgegeben, und wir sind in der glücklichen Lage, selbst Spuren von Ammoniak noch nachweisen zu können.

Einige Forscher stellen die bestimmte Behauptung auf, dass bei der Keimung Ammoniak erzeugt werde. Namentlich ist Hosaeus [2]) als Vertreter dieser Ansicht zu nennen. Derselbe liess Gerste, Roggen und Weizen in einem Gefässe keimen und leitete einen constanten Luftstrom über die sich entwickelnden Keimpflanzen. Die Luft passirte vor ihrem Eintritt in den Apparat ein Schwefelsäure enthaltendes Gefäss. Die Ammoniakbestimmungen lieferten die folgenden Resultate:

	Gerste.	Roggen.	Weizen.
Ammoniakmenge in $^0|_0$ der lufttrockenen Körner [3])	0.552	0.306	0.339
Ammoniakgehalt der ungekeimten Körner	0.074	0.106	0.063.

Zunächst ist zu bemerken, dass Hosaeus einen Ammoniakgehalt der von ihm untersuchten Körner constatirt haben will [4]). Diese Angabe ist, so meine ich, von sehr zweifelhaftem Werth,

---

dass Knochenmehl und Fleisch in Berührung mit Bodenmassen oder Gyps beim Faulen keinen freien Stickstoff ausgeben.

1) Dies ist, wie jedem bekannt, der sich mit Studien über den Keimungsprocess befasst hat, durchaus nicht leicht zu erreichen.

2) Vgl. Hosaeus, Jahresbericht f. Agriculturchemie. 1867. S. 100.

3) Die Angaben beziehen sich auf die Ammoniakmengen, welche die Keimpflanzen an die Luft, die über sie hinstrich, abgaben, plus derjenigen Ammoniakmenge, welche sie beim Trocknen nach vollendeter Keimung verloren, plus derjenigen, welche die getrockneten Keimpflanzen noch enthielten.

4) Die ruhenden Getreidekörner sollen nach Hosaeus (vgl. Jahresbericht f. Agriculturchemie, 1867, S. 74) neben Ammoniak auch noch Salpetersäure enthalten.

und zwar glaube ich mich um so mehr zu diesem Urtheile berechtigt, als es mir nicht gelungen ist, in ruhenden Samen von Pisum sativum und Lupinus luteus auch nur Spuren von Ammoniak zu entdecken[1]). Ferner ist zu bemerken, dass die Ammoniakquantitäten, welche Gerste, Roggen und Weizen nach Hosaeus bei der Keimung produciren sollen, sehr gross sind, und man wird deshalb zu der Ansicht gedrängt, dass das Untersuchungsmaterial, mit welchem Hosaeus experimentirte, bei der Ausführung der Beobachtungen zum Theil Fäulnissprocessen unterlag, oder dass die von Hosaeus zur Ammoniakbestimmung benutzte Methode mit Fehlern behaftet war.

Oudemans und Rauwenhoff[2]) geben an, dass Erbsen bei der Keimung sehr geringe Ammoniakmengen verlieren. Einige Untersuchungen, die ich über die Ammoniakbildung bei der Keimung der weissen Riesenerbse ausführte, sind in folgender Weise durchgeführt worden.

Die Samen gelangten im lufttrockenen Zustande in einem Becherkolben mit horizontalem Boden mit so viel Wasser, als sie zum Quellen bedurften, in Berührung[3]). Die Mündung des Kolbens wurde mittelst eines doppelt durchbohrten Kautschukkorkes verschlossen, und durch jede Bohrung wurde der eine Schenkel gebogener Glasröhren geschoben. Das eine Glasrohr stand mit einem Gefässe, welches verdünnte Schwefelsäure enthielt, in Verbindung, und diese Schwefelsäure hatte den Zweck, Ammoniak, welches die Samen eventuell bei der Keimung ausgaben, aufzunehmen. Das andere Glasrohr stand mit einem Kolben, der Wasser enthielt, in Verbindung, und dieser Kolben war weiter in geeigneter Weise mit einem, verdünnte Schwefelsäure enthaltenden Gefässe verbunden. Wenn nun bei der Ausführung der Untersuchungen ein constanter Luftstrom durch den gesammten Apparat geleitet wurde, so gelangte völlig von Ammoniak befreite und mit Hülfe des Wassers gewaschene Luft mit den keimenden Samen in Berührung. Das Durchleiten der Luft kann leicht mit Hülfe eines Tropfaspirators bewerkstelligt werden. Meine Versuche wur-

1) Allerdings beweist die Thatsache, dass Erbsen- sowie Lupinensamen kein Ammoniak enthalten, noch nicht definitiv, dass Getreidekörner ebenfalls frei davon sind.

2) Vgl. Oudemans und Rauwenhoff, Jahresber. d. Chemie f. 1858. S. 491.

3) Bei der Ausführung eines Versuchs wandte ich z. B. 8 Grm. Erbsensamen und 10 Cc. Wasser an. Die Keimpflanzen entwickelten sich unter den eingehaltenen Verhältnissen sehr schnell und normal.

den 4 oder 5 Tage lang bei Abschluss des Lichtes und bei Temperaturen von 20—24° C. fortgesetzt. Nach Verlauf dieser Zeit wurde die Schwefelsäure, welche das von den Keimpflanzen eventuell ausgegebene Ammoniak absorbirt haben musste, unter Berücksichtigung der erforderlichen Vorsichtsmassregeln mit Alkali versetzt und in bekannter Weise unter Zuhülfenahme eines mit dem Nesslerschen Reagens imprägnirten Streifen Fliesspapiers auf einen Ammoniakgehalt geprüft. Ebenso untersuchte ich, ob die Keimpflanzen selbst vielleicht Ammoniak enthielten [1]). Es zeigte sich, dass bei der Keimung der Erbsen keine Spur von Ammoniak gebildet worden war [2]). Dies Ergebniss hat allerdings zunächst nur Gültigkeit für den Keimungsprocess derjenigen Samen, mit denen ich experimentirte; aber es ist mir im höchsten Grade wahrscheinlich, trotzdem die Möglichkeit der Ammoniakbildung bei normaler Keimung vorliegt, dass keimende Samen normalerweise überhaupt niemals Ammoniak ausgeben, und dass diejenigen Beobachter, welche angeben, zu einem entgegengesetzten Resultate gelangt zu sein, mit einem Untersuchungsmateriale experimentirten, welches sich nicht völlig normal entwickelte, oder dass sie bei der Ausführung der Ammoniakbestimmungen unzureichende Methoden in Anwendung brachten [3]).

Es liegt, wie bereits früher angedeutet wurde, a priori einerseits die Möglichkeit vor, dass die keimenden Samen Stickstoff verlieren. Andererseits kann aber auch die Frage aufgeworfen werden, ob keimende Samen Stickstoff oder Verbindungen dieses Elementes aufnehmen.

Was zunächst das Verhalten der Keimpflanzen dem freien Stickstoff gegenüber anbelangt, so ist zu bemerken, dass derselbe, wie sich namentlich aus den mit peinlichster Sorgfalt ausgeführten Arbeiten Boussingaults [4]) ergiebt, von normal keimenden Samen nicht aufgenommen wird. Wenn sich die Keimpflanzen hingegen unter ungünstigen Vegetationsbedingungen entwickeln und

1) Es ist immer nothwendig, die Keimpflanzen selbst auf Ammoniak zu prüfen, da manche derselben ganz erhebliche Quantitäten organischer Säuren, durch welche Ammoniak gebunden werden kann, enthalten können. Die Reaction der Erbsenkeimlinge ist allerdings nur eine schwach saure.

2) Nach Fleury (vgl. Annl. d. chem. et d. phys., T. 4, p. 38) geben keimende Ricinussamen kein Ammoniak aus.

3) Man vgl. auch E. Schulze: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7. S. 420.

4) Vgl. Boussingault, Compt. rend. T. 39. p. 601.

die Substanz derselben Zersetzungsprocessen unterliegt, so kann vielleicht eine Bindung des freien atmosphärischen Stickstoffs erfolgen. Wenn z. B. die Stärke amylumreicher Samen Verwesungsprocessen anheimfällt, so werden humose Körper erzeugt. Derartige Substanzen sollen aber nach Simon[1]) im Stande sein, Stickstoff zu binden und Ammoniak zu bilden[2])[3]).

Wenn die Medien, in welchen sich die keimenden Samen entwickeln, völlig frei von Stickstoffverbindungen sind, und die Substanz der Samen sowie der Keimpflanzen keinen Zersetzungsvorgängen unterliegt, so kann also bei der Keimung keine Steigerung des Stickstoffgehaltes der Untersuchungsobjecte erfolgen. Anders dagegen, wenn den Keimpflanzen Gelegenheit geboten wird, aus der Luft, dem Boden oder dem Wasser Stickstoffverbindungen aufzunehmen[4]). Und es unterliegt keinem Zweifel, dass auch im Dunkeln vegetirende Keimpflanzen z. B. das aufgenommene Ammoniak oder die aufgenommene Salpetersäure zur Bildung von Proteinsubstanzen verwenden können.

Drittes Capitel.

Allgemeines über das Verhalten der Proteinstoffe bei der Keimung.

Die Proteinkörner erfahren, wie Pfeffer[5]) gezeigt hat, wesentliche Veränderungen bei der Keimung der Samen. Ihre Substanz mischt sich nämlich in Folge des Quellungsprocesses mit derjenigen der Grundmasse. Bei Lupinus luteus und anderen Arten dieser Gattung nehmen die Proteinkörner nach Pfeffer sehr bald nachdem die Quellung begonnen hat eine zähflüssige

1) Vgl. Simon, Versuchsstationen. B. 18. S. 457.

2) Will man Untersuchungen über diese Processe anstellen, so ist es vor allen Dingen nothwendig, sich völlig ammoniakfreie Humussubstanzen darzustellen. Dies ist, wie ich (vergl. Versuchsstationen, B. 15, S. 248 und mein Lehrbuch d. Bodenkunde, 1876, S. 430) und Simon (vgl. Versuchsstationen, B. 18, S. 457) gezeigt haben, in der That möglich.

3) Gegen die Angaben Simons lassen sich allerdings schwer wiegende Bedenken erheben.

4) Es muss noch erwähnt werden, dass nicht nur die Wurzeln der Keimpflanzen im Stande sind, dem Boden Ammoniak zu entziehen, sondern dass ebenfalls die Stamm- und Blattgebilde der Keimpflanzen, wie aus den Untersuchungen A. Mayers (vgl. Versuchsstationen, B. 17, S. 329) hervorgeht, die Fähigkeit besitzen, Ammoniak aus der Luft aufzunehmen und zu verarbeiten.

5) Vgl. Pfeffer, Pringsheims Jahrbücher. B. 8, S. 525.

Beschaffenheit an, und ihre Mischung mit der Grundmasse erfolgt bereits, während das Würzelchen aus dem Samen hervorbricht. Dabei schmelzen die Proteinkörner gleichsam von aussen ab, oder die Auflösung beginnt zunächst im Innern. Zu gleicher Zeit mit diesen Vorgängen nimmt auch der in den Zellen des ruhenden Samen im ausgetrockneten Zustande vorhandene Protoplasmaleib seine normale Beschaffenheit wieder an, und der Zellkern kehrt zu derjenigen Gestalt, die er im reifenden Samen zeigte, zurück [1]). Weiter ist zu bemerken, dass die Globoide sich allmählich auflösen, während die Krystalle von oxalsaurem Kalk im Wesentlichen unverändert erhalten bleiben. Das Hüllhäutchen der Proteinkörner verschwindet völlig bei fortschreitender Keimung. Ganz ähnlich wie bei Lupinus verhalten sich die Proteinkörner im keimenden Samen von Silybum marianum.

Das Verhalten krystalloidführender Proteinkörner bei der Keimung studirte Pfeffer namentlich an dem Endosperm von Ricinus. Die Hüllmasse der Proteinkörner vermischt sich alsbald nach beginnender Quellung des Samen mit der Grundmasse zu einer trüben Emulsion, und die Auflösung der Krystalloide lässt dann ebenfalls nicht lange auf sich warten. Die Auflösung der Krystalloide kann entweder centripetal oder centrifugal fortschreiten, oder sie kann derartig geschehen, dass zunächst nur eine oder einige Stellen angegriffen werden, und der Process von diesen aus weitergeht. Die Auflösung der Krystalloide im Endosperm beginnt etwa gleichzeitig mit dem Hervorbrechen des Würzelchens; sie ist lange vollendet, wenn die Samenlappen aus dem Endosperm hervortreten [2]).

Während die plasmatischen Gebilde der ruhenden Samen nur lebensfähig sind, wird erst das eigentliche lebensthätige Plasma durch den Auflösungsprocess der Proteinkörner und die Vermischung der Substanz derselben mit derjenigen der Grundmasse etc. regenerirt. Die Substanz des Plasma verweilt aber nicht lange in den Zellen, in welchen sie sich zu Beginn der Keimung befindet; vielmehr wird dieselbe zur Bildung neuer Zellen des sich

1) Pfeffer bemerkt, dass bei Lupinus lange vor vollendeter Auflösung der Proteinkörner Chlorophyllkörner in den Zellen sichtbar werden. Dieselben sind sehr wahrscheinlich als Regenerationsproducte der beim Reifen des Samen ausgetrockneten Chlorophyllkörner anzusehen.

2) Wir erwähnen hier noch, dass niemals eine directe Umwandlung eines Proteinkorns in ein Stärkekorn, wie Hartig (vgl. Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims, S. 126) dies annahm, stattfindet. Ebenso entsteht niemals durch einfaches Ergrünen aus einem Proteinkorn ein Chlorophyllkorn.

entwickelnden Embryo Verwendung finden müssen. Alle Beobachter, welche sich mit mikrochemischen Untersuchungen über das Verhalten der Proteinstoffe bei der Keimung beschäftigt haben [1]), geben in der That an, dass die Proteinstoffe in dem Masse als die Entwickelung des Embryo fortschreitet aus den Reservestoffbehältern verschwinden. Die stickstoffhaltigen Verbindungen werden während der Keimung denjenigen Regionen der Pflanze zugeführt, deren Gewebe in lebhafter Zelltheilung begriffen ist, also namentlich der Wurzelspitze und der Spitze der Plumula. Aus den zwischen diesen Theilen der Keimpflanze und den Reservestoffbehältern liegenden Zellen verschwinden die Proteinstoffe mehr und mehr, und es lassen sich nur in den Gefässbündelelementen selbst nach langer Zeit noch Eiweisskörper in erheblicheren Mengen nachweisen [2]).

Die stickstoffhaltigen Verbindungen, welche die Reservestoffbehälter bei der Keimung verlassen, dienen aber nicht nur dazu, die eigentliche Grundmasse des Plasma der neu entstehenden Zellen des sich entwickelnden Embryo zu bilden; sie müssen vielmehr ebenfalls in letzter Instanz das Material zur Bildung der Zellkerne und der plasmatischen Grundmasse der Chlorophyllkörner liefern. Es liegt uns hier fern, auf diejenigen Vorgänge, welche sich bei der Entstehung der zuletzt genannten Zelltheile abwickeln, genauer einzugehen; nur auf einen Punkt möchten wir an dieser Stelle hinweisen [3]).

Nachdem Gris [4]), sowie andere Beobachter eingehendere Forschungen über die Entstehung der Chlorophyllkörner angestellt hatten, äusserte sich Sachs auf Grund eigener Beobachtungen wie folgt über die in Rede stehenden Verhältnisse [5]):

„Niemals entstehen Chlorophyllkörner im Zellsaft, sondern immer im Protoplasma selbst. In der Substanz des letzteren bilden sich, zwischen seinen Molekülen zerstreut, Substanztheilchen

---

1) Man vgl. namentlich die bekannten Abhandlungen von Sachs über die Keimungsgeschichte verschiedener Samen, sowie die Arbeiten von H. de Vries im 6. und 7. Bande der landwirthschaftl. Jahrbücher.

2) In den zwischen den Ablagerungs- und Verbrauchsorten der Keimpflanzen befindlichen vollkommen gestreckten Parenchymzellen sind Proteinstoffe, wie Sachs (vgl. Flora, 1862, S. 293) zuerst angab, nicht nachzuweisen, während sie noch in den Leitzellen der Gefässbündel nachgewiesen werden können. In den noch nicht fertig gestreckten Parenchymzellen sind stets Proteinstoffe vorhanden.

3) Specielleres bei Sachs, Experimentalphysiologie. S. 312 etc.

4) Vgl. Gris, Annl. d. sc. nat. 1857. T. 7, p. 179.

5) Vgl. Sachs, Experimentalphysiologie. S. 315.

von wenigstens zweierlei Art; nämlich solche von eiweissartiger Natur und solche eines Chromogens, welches den Chlorophyllfarbstoff liefert. Beiderlei Moleküle, anfangs im Protoplasma gleichmässig vertheilt, sammeln sich später um bestimmte Anziehungspunkte, wobei sie sich von denen des Protoplasma selbst mehr und mehr absondern und unter sich zusammenlagern, Chlorophyllkörner bilden" [1]).

Die Stärkekörner, so bemerkt Sachs weiter, welche in den Chlorophyllkörnern in Folge des Assimilationsprocesses entstehen, haben gewöhnlich nichts mit der Bildung derselben zu thun. Nur ausnahmsweise und in Organen, die ursprünglich nicht für die Chlorophyllbildung bestimmt sind, z. B. in den am Licht liegenden Kartoffeln, kommt es vor, dass sich farbloses Protoplasma um Amylumkörner herumlagert und dann ergrünt [2]).

Neuerdings hat G. Haberlandt [3]) die Entstehung der Chlorophyllkörner abermals genauer untersucht, und der genannte Forscher ist dabei zu dem Ergebniss gelangt, dass die zuletzt angeführte Bildungsweise derselben weit häufiger vorkommt, als Sachs angegeben hat. Es ist von besonderer Wichtigkeit, dass Haberlandt solche Keimpflanzen zu seinen Beobachtungen verwandte, deren Samen im ruhenden Zustande Stärke führen.

Es wurden Samen von Phaseolus vulgaris eingequollen, nach 24 Stunden ihrer Testa beraubt, und die Embryonen alsdann in einem feuchten Raume dem Einfluss des Lichtes ausgesetzt. Vor Beginn der Keimung waren in den Epidermiszellen der Cotyledonen und ebenso in denjenigen Zellen, welche die Epidermis begrenzen, keine Stärkekörner vorhanden. Bald nach Beginn der Keimung traten Amylumkörner in den genannten Zellen auf [4]). Die Stärkekörner umgaben sich mit Plasmamassen, und diese ergrünten mehr und mehr. Die auf diese Weise gebildeten Chlorophyllkörner verhielten sich fernerhin in ganz analoger Weise wie auf andere Weise entstandene. Das Amylum konnte unter geeigneten Verhältnissen wieder aus ihnen verschwinden, und sie besassen die Fähigkeit, sich zu theilen, sowie zu assimiliren.

Mikosch [5]) hat die Angaben Haberlandts bestätigt gefunden.

1) Die Bildung der Chlorophyllkörner erfolgt im Dunkeln im Wesentlichen in derselben Weise wie bei Lichtzutritt. Im Dunkeln nehmen die entstehenden Gebilde natürlich keine grüne, sondern eine gelbe Farbe an.

2) Vgl. Böhm, Sitzungsber. d. kais. Akd. d. W. zu Wien. 1857. S. 30.

3) Vgl. G. Haberlandt: Botanische Zeitung. 1877. S. 362.

4) Diese Amylumkörner konnten natürlich kein Assimilationsproduct sein.

5) Vgl. Mikosch: Botanische Zeitung. 1878. S. 516.

Nach demselben kann man zwischen Stärkechlorophyllkörnern und Plasmachlorophyllkörnern unterscheiden. Die ersteren entstehen dadurch, dass Amylumkörner von ergrünenden Plasmamassen umhüllt werden; die letzteren bilden sich in der von Sachs constatirten Weise durch Zerfall des Plasma. Wenn sich Chlorophyllkörner in Zellen bilden, die keine Stärke führen, so können selbstverständlich nur Plasmachlorophyllkörner entstehen.

Wenn die Eiweisskörper der Reservestoffbehälter der Samen bei der Keimung zur Bildung der Grundmasse des Plasma, der Kerne, sowie der Chlorophyllkörner Verwendung finden, so muss das Bildungsmaterial offenbar von den Orten der Ablagerung aus, den Orten des Verbrauchs zugeführt werden. Es liegt nun einerseits die Möglichkeit vor, dass die Proteinstoffe diesen Weg als solche zurücklegen; andererseits aber können die Eiweisskörper auch vor oder während ihrer Translocation Metamorphosen oder Zersetzungen erleiden, so dass die Zersetzungsproducte in die wachsenden Pflanzenzellen gelangen, um hier unter Mitwirkung anderweitiger Stoffe zur Eiweissregeneration zu dienen. In einem anderen Zusammenhange soll gezeigt werden, dass die Eiweissstoffe nicht im Stande sind, allseitig geschlossene Zellen zu passiren. Es ist deshalb von grossem Interesse, dass die Proteinstoffe des vegetabilischen Organismus durch Metamorphose oder Dissociation verschiedene stickstoffhaltige Substanzen liefern können, die nicht mehr den Charakter der Eiweisskörper tragen, und namentlich sind Peptone, sowie Asparagin und Amidosäuren als derartige Producte anzusehen. Was die Peptone anbelangt, so kann man wohl mit Bestimmtheit behaupten, dass dieselben ohne vorherige tiefgreifende Zersetzung der Eiweisskörper entstehen, und daher als Umwandlungsproducte der letzteren anzusehen sind [1]). Dagegen müssen die Proteinstoffe bei der Bildung von Säureamiden und Amidosäuren Zersetzungen im strengen Sinne des Wortes unterliegen. Der Bildungsprocess der Säureamide und Amidosäuren kann nun im Allgemeinen, dies liegt von vornherein auf der Hand, entweder derartig erfolgen, dass bei dem Eiweisszerfall lediglich stickstoffhaltige Körper entstehen, oder es können die Proteinstoffe bei ihrem Zerfall neben Säureamiden und Amidosäuren noch stickstofffreie Verbindungen liefern.

1) Die Peptone stehen den Proteinstoffen entschieden so nahe, dass wir berechtigt sind an der im Text geltend gemachten Ansicht festzuhalten.

Wenn wir uns zur Beantwortung der Frage anschicken, ob die Zersetzung der Proteinstoffe in der Pflanze in der einen oder der anderen Weise stattfindet, so berühren wir damit ein Problem von eminentester Bedeutung, ein Problem, das bereits seit langer Zeit in der Wissenschaft Beachtung gefunden hat, aber erst in unseren Tagen so recht in den Mittelpunkt der Discussion gezogen worden ist.

Sachs, der Begründer vieler wichtigen Lehren vom pflanzlichen Stoffwechsel, ist der Meinung, dass die Eiweisskörper im vegetabilischen Organismus nicht in stickstoffhaltige und stickstofffreie Verbindungen zerfallen[1]). Danach liefern die Proteinstoffe das Material zur Zellstoffbildung nicht, sondern verschiedene Kohlehydrate, sowie Fette sind als diejenigen Verbindungen anzusehen, welche direct für die Celluloseproduction verwerthet werden können. Die hier berührten Anschauungen haben sich eines sehr hohen Ansehens erfreut; sie können noch heute als die herrschenden bezeichnet werden. Trotzdem darf nicht unerwähnt bleiben, dass bereits mehrfach der Versuch gemacht worden ist, Thatsachen zur Begründung der Ansicht, dass die Proteinstoffe in der Pflanzenzelle stickstofffreie und stickstoffhaltige Substanzen als Zersetzungsproducte liefern, beizubringen.

So geschah dies z. B. von H. Karsten, welcher Untersuchungen über den Keimungsprocess der Schminkbohne anstellte. Der genannte Beobachter fand nämlich, dass seine bei Abschluss des Lichtes cultivirten Pflanzen procentisch reicher an Protein, dagegen procentisch ärmer an sogen. unbestimmten stickstofffreien Verbindungen als diejenigen Bohnenpflanzen waren, welche sich bei Lichtzutritt entwickelt hatten. Karsten glaubt sich nun zu dem folgenden Schlusse berechtigt:

„Man sieht deutlich, dass die letzteren (die unbestimmten Stoffe) aus den ersteren (den Proteinkörpern) gebildet werden müssen und dass zu dieser Umbildung das Licht, wenn dasselbe auch nicht ganz unbedingt nöthig ist, so doch einen Hauptfactor darstellt. Wie schön erklärt sich so der geringere Stickstoffverlust gegenüber dem doch bedeutend höheren Substanzverlust in der Dunkelreihe.“

Was das Verhältniss bezüglich des Stickstoffverlustes bei der Keimung der Schminkbohne anbelangt, so dürfen wir dasselbe an dieser Stelle mit gutem Gewissen übergehen und den Leser auf

1) Vgl. Sachs, Handbuch der Experimentalphysiologie. S. 348.

2) Vgl. Karsten, Versuchsstationen. B. 13, S. 193.

die Bemerkungen im vorigen Capitel dieses Hauptabschnittes verweisen. Der wichtigste Punkt ist dieser für uns, dass die von Karsten bei Lichtzutritt cultivirten Pflanzen reicher an stickstofffreien Substanzen als diejenigen, welche sich im Finstern ausgebildet hatten, waren, denn auf dies Verhältniss legt Karsten ein besonderes Gewicht. Bedenken wir, dass die bei Lichtzutritt erwachsenen Pflanzen Chlorophyll gebildet hatten, also assimiliren konnten, so muss doch zunächst und vor allen Dingen geschlossen werden, dass die grösseren Mengen stickstofffreier Verbindungen, welche die Pflanzen der Lichtreihe enthielten, dem Assimilationsprocesse ihr Dasein verdankten, und es ist in der That wunderbar, dass Karsten dem Einflusse des Assimilationsvorganges auf die Zusammensetzung seiner Untersuchungsobjecte keine Beachtung gewidmet hat. Allerdings scheint der genannte Beobachter zumal dem grösseren Gehalt der Pflanzen der Lichtreihe an sogen. unbestimmten stickstofffreien Verbindungen Gewicht beizumessen; aber es liegt doch auf der Hand, dass derartige Körper leicht aus dem Amylum, welches sich in Folge der Assimilation gebildet haben muss, hervorgehen können. Die Ansichten Karsten's entbehren also jeder thatsächlichen Begründung.

Als ein fernerer Vertreter der Anschauung, dass die Proteinstoffe bei der Keimung unter Bildung einer stickstofffreien Substanz zerfallen, ist Just[1]) zu nennen. Derselbe hat sehr eingehende mikrochemische Untersuchungen über die Stoffwanderung des keimenden Weizens angestellt, und er macht zur Begründung seiner Auffassung namentlich Folgendes geltend.

Haben die Weizenkörner 24 Stunden lang gequollen, so ist von irgend welcher Veränderung des Endosperm noch nichts zu beobachten. Im Parenchym der jungen Blätter des Embryo, zumal im Parenchym der Scheide, ferner im Gewebe der Wurzelscheide, wie auch in den Wurzelhauben und im Wurzelparenchym findet sich Stärke; Zucker dagegen tritt nur in geringen Quantitäten im Parenchym der Wurzeln auf. Im Endosperm hat noch keine Zuckerbildung begonnen. Da der Embryo der ruhenden Samen von Triticum vulgare nun völlig frei von Stärke und Zucker ist, und das Endosperm während der Quellung keine Veränderungen erleidet, so können die Kohlehydrate, welche in der jungen Pflanze während des ersten Keimungsstadiums auftreten, so schliesst Just, nicht aus dem Endosperm in den Embryo übergegangen sein, viel-

1) Vgl. Just, Separatabdruck aus dem dritten Bande d. Annl. d. Oenologie. S. 13.

mehr müssen sie in dem letzteren selbst und zwar durch Spaltung der vorhandenen Proteinstoffe entstanden sein. Der genannte Forscher isolirte ferner die Keime der ruhenden Samen von dem Endosperm derselben und legte die ersteren auf feuchtes Fliesspapier. Die Embryonen fingen an zu wachsen. „Dieses Wachsthum", bemerkt Just, „konnte natürlich nur auf Kosten der im Keime selbst enthaltenen Nährstoffe stattfinden. Jederzeit zeigten diese vom Endosperm getrennten Keime, nachdem sie etwa 24 Stunden auf feuchtem Fliesspapier gelegen, in allen Parenchymzellen mit Einschluss derjenigen der Wurzeln deutlich Stärke; die Parenchymzellen der Wurzeln enthalten Zucker, die Epithelzellen, die Zellen der Gefässbündel, diejenigen des Vegetationskegels bleiben stets frei von Zucker und Stärke. Es zeigt sich hier also dieselbe Vertheilung der betreffenden Stoffe, wie bei den Keimen, die mit dem Endosperm noch im Zusammenhange sind, so dass hieraus hervorgeht, dass auch bei diesen letzteren Keimen die zuerst auftretenden Quantitäten von Zucker und Stärke nicht aus dem Endosperm, sondern vielmehr aus dem Protoplasma des Keims sich ausscheiden."

Aber wie dann, wenn wir die Ansicht aufstellen, dass die Kohlehydrate im Embryo aus stickstofffreien Stoffen, welche derselbe von vornherein enthielt, entstanden sind. Diese Möglichkeit liegt offenbar vor, und Just kann dieselbe auf Grund der Resultate seiner Beobachtungen nicht beseitigen. Man sieht also, dass ebenfalls die hier zuletzt angeführten Untersuchungen nicht im Stande sind, die aufgeworfene Frage nach dem Verhalten der Proteinstoffe bei der Keimung sicher zu entscheiden.

Ebenso wie Karsten und Just, ist auch Borodin der Ansicht, dass die Proteinstoffe in der Pflanze in stickstoffhaltige und stickstofffreie Körper zerfallen [1]).

In seiner Abhandlung bespricht der genannte Forscher nämlich die Frage nach der Entstehung des Asparagins in der Pflanze und dabei kommt er naturgemäss auf die soeben erwähnten Verhältnisse zurück.

Wir werden weiter unten speciell erfahren, dass das Asparagin als eine sehr häufig bei der Keimung der Samen entstehende Substanz zu betrachten ist. Borodin hat aber auch den exacten Nachweis geliefert, dass das Asparagin ebenso in vielen anderweitigen Pflanzentheilen unter Umständen in grösseren Quantitäten nachzuweisen ist. So fand Borodin reichliche Asparaginmengen

1) Vgl. Borodin, Just's botan. Jahresbericht, 1876, S. 919 und botan. Zeitung, 1878, Nr. 51 etc.

in den sich entfaltenden Knospen abgeschnittener Zweige von Tilia purpurifolia, Syringa vulgaris, Spiraea sorbifolia, Sorbus aucuparia, Sambucus racemosa etc., die während des Winters im Zimmer in Wasser verweilten. Wurden nicht die Knospen solcher Zweige, welche bereits längere Zeit abgetrennt von ihren Mutterpflanzen verweilt hatten, sondern die in freier Natur treibenden Knospen an unversehrten Gewächsen untersucht, so ergaben sich unter anderem die folgenden Resultate: Verschiedene Pflanzen (Syringa vulgaris, Sorbus aucuparia, Fraxinus excelsior, Alnus glutinosa etc.) enthalten unter normalen Bedingungen niemals nachweisbare Asparaginquantitäten. Ferner existiren Pflanzen (Populus tremula, Quercus pedunculata, Prunus Padua etc.) deren Knospenentwickelung im Freien von sehr schwacher Asparaginanhäufung begleitet ist. In einigen Pflanzen (Spiraea sorbifolia, Ulmus effusa etc.) tritt Asparagin normal, freilich nur temporär, in bedeutender Quantität auf.

Von fundamentaler Bedeutung ist nun die Thatsache, dass solche Pflanzen, in denen unter normalen Verhältnissen kein Asparagin nachzuweisen ist, doch unter gewissen Umständen der Asparaginbildung oder besser gesagt der Asparaginanhäufung fähig sind. Werden z. B. frisch abgeschnittene und mit Knospen besetzte Zweige von Sambucus, Syringa oder Sorbus, in denen also zunächst kein Asparagin vorhanden ist, in Wasser gestellt und einige Zeit an einem schlecht beleuchteten Orte belassen, so treten alsbald reichliche Asparaginquantitäten in den sich entfaltenden jungen Blättern auf.

Die Erscheinung der Anhäufung des Asparagins in den Pflanzen tritt übrigens nicht nur in bestimmten Entwickelungsperioden hervor, nämlich nicht nur zur Zeit der Keimung und der Entfaltung der Knospen, sondern sie besitzt ganz allgemeine Verbreitung, und es ist ein wesentliches Verdienst Borodins, hierauf zuerst mit aller Bestimmtheit hingewiesen zu haben. Derselbe untersuchte sehr verschiedene Pflanzen zu den verschiedensten Zeiten des Sommers mit negativem Erfolg auf Asparagin; wurden die Pflanzentheile nach dem Abschneiden aber längere Zeit im wassergasreichen, verfinsterten Raum belassen, so häufte sich das Asparagin in geringeren oder grösseren Mengen in denselben an.

Die Ursachen der hier berührten merkwürdigen Erscheinungen können an dieser Stelle noch nicht eingehender behandelt werden. Wir erwähnen hier nur, dass die Proteinstoffe nach Borodins Anschauung in den Pflanzen unter allen Umständen in der-

selben Weise zerfallen. Sie liefern immer, sowohl bei Lichtzutritt als auch bei Lichtabschluss, einerseits Asparagin und anderweitige stickstoffhaltige Substanzen, andererseits stickstofffreies Material für den Athmungsprocess. Wenn in den unter normalen Verhältnissen erwachsenen Pflanzen dennoch oft kein Asparagin nachzuweisen ist, so rührt dies daher, dass das gebildete Asparagin sofort wieder unter Vermittelung der durch den Assimilationsprocess in reichlichen Quantitäten gebildeten stickstofffreien Stoffe zur Proteinstoffregeneration Verwendung findet [1]). Bei Lichtabschluss kann sich dieser Regenerationsprocess oft nur in sehr beschränktem Masse geltend machen, da die stickstofffreien Verbindungen unter diesen Umständen alsbald aufgezehrt sind und durch keine neuen ersetzt werden. In Folge dessen muss eine Asparaginanhäufung in den Pflanzentheilen zu Stande kommen [2]).

Auch Pfeffer [3]) hat es neuerdings für möglich erklärt, dass mit der pflanzlichen Athmung eine abwechselnde Zersetzung und Neubildung von Eiweissstoffen verbunden sein kann. Ebenso schliesst sich E. Schulze [4]) jetzt den Vertretern dieser Ansicht an, während er denselben früher [5]) nicht beigestimmt hatte.

Wenn ich nunmehr dazu übergehe, meine Anschauungen über das Verhalten der Proteinstoffe des Plasma in der Pflanze zu entwickeln, so möchte ich vor allen Dingen betonen. dass wir heute noch nicht im Stande sind, diese oder jene der a priori über den Zerfall der Eiweissstoffe möglichen Ansichten auf directem, experimentellem Wege und durch unmittelbare Beobachtung als die einzig zulässige zu erweisen. Von vornherein ein Anhänger der Anschauung, wonach die stickstofffreien Stoffe der Pflanzenzellen unter dem Einflusse des atmosphärischen Sauerstoffs unmittelbar zur Verathmung gelangen, hat mich gerade die durch eingehendes Nachdenken gewonnene Ueberzeugung, dass es heute nicht möglich ist, den exacten experimentellen Beweis für die Richtigkeit der entgegenstehenden Meinung beizubringen, zunächst in meiner ursprünglichen Auffassung nur bestärkt. Aber in dem Masse als meine Einsicht in das Wesen der pflanzlichen Stoff-

---

1) Diese Ansicht stützt sich auf wichtige von Pfeffer festgestellte und weiter unten eingehender zu beleuchtende Thatsachen.

2) In manchen entwickelteren grünen Pflanzentheilen sind übrigens nachgewiesenermassen Säureamide, sowie Amidosäuren leicht zu entdecken.

3) Vgl. Pfeffer: landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7, S. 805.

4) Vgl. E. Schulze: Botan. Zeitung. 1879. Nr. 14.

5) Vgl. E. Schulze: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7, S. 411.

wechselprocesse wuchs, gewann die Anschauung, dass die Proteinstoffe des Plasma in lebenden Pflanzenzellen in stickstofffreie sowie stickstoffhaltige Körper zerfallen, mehr Raum in mir, und jetzt bin ich der Ueberzeugung, dass es für die Physiologie von fundamentalster Bedeutung ist, an dieser Ansicht festzuhalten und derselben eine tiefere Begründung zu verleihen.

Es stehen uns heute, wie gesagt, keine Mittel zur Verfügung, um den directen Beweis dafür zu liefern, dass die Proteinstoffe im vegetabilischen Organismus in stickstoffhaltige und stickstofffreie Substanzen zerfallen. Wichtig ist aber, dass wir doch wenigstens darüber orientirt sind, welche Zersetzungsproducte die Eiweisskörper überhaupt liefern können. Im ersten Kapitel dieses Hauptabschnittes wurde gezeigt, dass die Proteinstoffe bei der Behandlung mit verschiedenen Reagentien Asparaginsäure, Glutaminsäure, Leucin, Tyrosin, also stickstoffhaltige Körper liefern die ebenfalls beim Zerfall der Eiweisssubstanzen in der Pflanzenzelle entstehen, und dass es ferner möglich ist, gewisse stickstofffreie Zersetzungsproducte aus Proteinstoffen ausserhalb des Organismus zu gewinnen. Weiter ist hier zur Begründung unserer Anschauungen auf die Leichenwachsbildung und auf die pathologische Erscheinung der Verfettung ganzer Organe des thierischen Körpers hinzuweisen. Gewisse Käsesorten zeichnen sich ferner dadurch aus, dass sie beim Reifen stets reicher an Fett, aber ärmer an Casein werden, ein Process, der nur erklärlich wird, wenn das Casein eine Spaltung in eine sehr stickstoffreiche Substanz und in Fett erleidet. Hiermit im Zusammenhange steht auch wohl die Erscheinung, dass Milch bei längerem Stehen an der Luft fettreicher wird. Ebenso darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Proteinstoff im thierischen Organismus nach der heute herrschenden Auffassung in Harnstoff etc. und Fette zerfallen; der erstere gelangt im Urin zur Abscheidung, während die letzteren in den Geweben abgelagert werden können[1]).

Wollte man aber auch allen diesen Argumenten keine Bedeutung beimessen, so ist doch eine Thatsache zu verzeichnen, die meiner Meinung nach mit aller Bestimmtheit darauf hinweist, dass die Proteinstoffe in den Pflanzenzellen stickstoffhaltige sowie stickstofffreie Zersetzungsproducte liefern müssen, und zwar ist es von ganz hervorragender Wichtigkeit, dass diese Thatsache sich aus Beobachtungen an der lebenden Pflanze selbst ergeben hat. E

1) Namentlich ist Voit als ein Begründer dieser Ansicht zu nennen.

lässt sich nämlich mit aller Sicherheit der Nachweis liefern, dass die im vegetabilischen Organismus entstandenen stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte der Proteinstoffe (Säureamide sowie Amidosäuren) unter Vermittelung stickstofffreier Substanzen zur Eiweissregeneration Verwendung finden können. Wenn dies aber der Fall ist, so gelangen wir zu dem Schluss, dass im Eiweissmolekül stickstoffhaltige und stickstofffreie Atomgruppen vorhanden sind, und dass sich diese Atomgruppen, wie sie sich bei der Proteinstoffbildung vereinigen, bei der Proteinstoffzersetzung von einander trennen müssen.

Indem ich zunächst in etwas speciellerer Weise auf den merkwürdigen Process der Proteinstoffzersetzung in der Pflanzenzelle eingehe, muss ich erwähnen, dass es mir immer schwer geworden ist, eine Erklärung für die eigenthümliche Erscheinung der Leichtzersetzbarkeit solcher Stoffe im Organismus, die sich ausserhalb desselben als recht indifferente Körper erweisen, zu finden. So z. B. kann das Amylum ausserhalb der Pflanze allerdings im feuchten Zustande einer Oxydation anheimfallen; aber diese Oxydation entspricht doch bei weitem nicht der energischen Kohlensäureproduction, welche stärkereiche, lebende Pflanzenzellen zeigen. Geht man von der herkömmlichen und heute noch so verbreiteten Anschauung aus, dass der Sauerstoff der Luft direct auf das Amylum in der Pflanze einwirkt, und der Kohlenstoff der producirten Kohlensäure also unmittelbar der Stärke entstammt, so sieht man sich zu der Annahme gezwungen, dass der Sauerstoff unter Vermittelung des Plasma in einen besonders activen Zustand versetzt wird, um die Fähigkeit zu erlangen, in erhöhtem Grade oxydirend wirken zu können. Andererseits liegt die Möglichkeit vor, dass das Amylum im Plasma zunächst in eine leicht oxydirbare Substanz übergeht und erst dann verathmet wird. Aber alle Schwierigkeiten lassen sich auf einfache Weise beseitigen, wenn man an der von uns vertretenen Anschauung festhält, wonach die Proteinstoffe beim Stoffwechsel in stickstoffhaltige und stickstofffreie Körper zerfallen.

Meine Anschauungen über das Wesen dieses Zerfalls selbst haben Aehnlichkeit mit jenen vor einiger Zeit von Pflüger[1]) entwickelten. Man ist, so meine ich, vollkommen berechtigt, zwischen lebendigen und todten Eiweissstoffen zu unterscheiden[2]).

---

1) Vgl. Pflüger, Archiv f. d. gesammte Physiologie. 1875. B. 10, S. 300.

2) Ich bemerke hier, dass ich die Proteinstoffe ruhender Samen weder als lebendige, noch als todte auffasse. Dieselben müssen vielmehr als lebensfähige

Man darf von der Voraussetzung ausgehen, dass die ersteren nicht identisch mit den letzteren sind, und dass die lebendigen Eiweissmoleküle sich wesentlich in sofern von den todten Eiweissmolekülen unterscheiden, als in ihnen eine lebhafte intramolekulare Bewegung der Atome zur Geltung kommt, die im todten Eiweissmolekül nicht vorhanden ist. Wie sich die Cyanwasserstoffsäure allmählich von selbst zersetzt, wie der Chlorstickstoff und der Jodstickstoff unter Umständen ohne äussere nachweisbare Veranlassung in ihre Elemente zerfallen, so zeigt ebenso jedes Eiweissmolekül, das einmal in den lebendigen Zustand übergegangen ist, eine energische Selbstzersetzung. Diese Selbstzersetzung, welche das innerste Wesen des Lebens ausmacht, muss auf eine Bewegung der Atome im Molekül zurückgeführt werden, auf eine Bewegung, die gross genug sein muss, „um die Atome aus der Aktivitätssphäre der sie unmittelbar im Molekül bindenden mehr oder weniger zu entfernen[1])."

Wenn hier von lebendigen Eiweissmolekülen die Rede ist, so muss noch bemerkt werden, dass dieselben nach der Anschauung von Pflüger sehr bedeutende Dimensionen erreichen können (Riesenmoleküle). Vielleicht besteht z. B. nach der Meinung des genannten Forschers das gesammte Nervensystem eines thierischen Individuums mit allen wirkenden Theilen aus einem einzigen solchen chemischen Riesenmolekül. Ebenso können wir uns vorstellen, was für unseren Zweck vollkommen genügt, dass jedes einzelne Tagma des Plasma der Pflanzenzellen ein relativ sehr grosses lebendiges Proteinstoffmolekül repräsentirt, und wir gelangen dadurch zu der principiell wichtigen Vorstellung, dass die Tagmen des Plasma, deren Lagerungsverhältnisse, wie wir an anderer Stelle bereits gesehen haben, für die Beurtheilung der Eigenschaften des lebensthätigen Protoplasma von so hervorragender Bedeutung erscheinen, als die eigentlichen Träger des Lebens, als Lebenseinheiten anzusehen sind[2]).

Eiweisskörper angesehen werden, weil sie in Contact mit Wasser alsbald in den lebendigen Zustand übergehen.

1) Diese Anschauungen sind ganz bestimmt ebenfalls für die Begründung einer rationellen Theorie der Bewegungsphänomene des Plasma von höchster Bedeutung.

2) Der Ausdruck „Lebenseinheit" ist allerdings schon von Vöchting (vgl. dessen Schrift über Organbildung im Pflanzenreich, Bonn, 1878) benutzt worden, aber in einem ganz anderen Sinne, wie ich ihn gebrauche. Um Verwechselungen vorzubeugen, kann man Vöchting's Lebenseinheiten, wie er dies selbst gethan hat, als physiologische Individuen bezeichnen.

Die erste Entstehung dieser Lebenseinheiten setzt die Existenz todter Eiweissmoleküle durchaus nicht voraus; vielmehr liegt es näher zu glauben, dass nicht diese letzteren, sondern gerade die lebendigen Proteinstoffmoleküle das Primäre waren. Es müssen auf alle Fälle aus anorganischen Körpern durch Synthese organische Substanzen gebildet worden sein. Dieselben haben sich dann durch fernere synthetische Processe zu lebendigen Eiweissmolekülen vereinigt. Die lebhafte Bewegung der Atome in den Molekülen bedingt eine fortdauernde Zersetzung derselben, aber ebenso sind die Moleküle auch im Stande, zu wachsen, d. h. sich durch Aufnahme neuer Substanzen zu vergrössern. Wenn die eigenthümlichen Bewegungen der Atome im lebendigen Eiweissmolekül durch äussere Einflüsse (Kälte, Wärme, Säuren etc.) aufgehoben werden, so nehmen sie eine stabile Gleichgewichtslage zu einander an, und es resultirt dies, was man schlechthin als Proteinstoffe (todte Eiweissmoleküle) bezeichnet. Dieselben müssen als gesättigte Verbindungen angesehen werden; sie sind zwar noch zersetzbar, aber sie zeigen die für das lebendige Eiweissmolekül so charakteristische Eigenschaft der Selbstzersetzbarkeit nicht mehr.

Wenn aber der Process der Selbstzersetzung oder der Dissociation für die lebendigen Eiweissmoleküle oder — um einen bereits gebrauchten, weniger Missverständnisse veranlassenden Ausdruck in Anwendung zu bringen — für die Lebenseinheiten so sehr charakteristisch ist, so erscheint es von vornherein als höchst wahrscheinlich, dass diese Zersetzungsvorgänge innerhalb gewisser und zwar ziemlich weiter Grenzen unabhängig von äusseren Einflüssen stattfinden werden. Zwar liegt es in der Natur der Sache selbst tief begründet, dass erhöhte Temperatur die Energie der Dissociation wesentlich steigern muss, denn gesteigerte Wärmezufuhr wird die intramolekulare Bewegung der Atome steigern und somit beschleunigend auf den Verlauf der Zersetzung einwirken; aber andererseits ist zu betonen, dass bestimmte äussere Verhältnisse den Dissociationsprocess nicht in dem Masse beeinflussen, als man a priori anzunehmen geneigt ist. Wenn z. B. Pflanzenzellen in einen sauerstofffreien Raum gelangen, so hört damit die intramolekulare Bewegung der Atome der Lebenseinheiten keineswegs, wie man vielleicht zunächst glauben könnte, sofort auf, vielmehr kann dieselbe noch lange fortbestehen und das Leben der Zellen somit erhalten bleiben. Neuere Untersuchungen, auf die wir im nächsten Hauptabschnitte eingehend zurückkommen werden, haben ergeben, dass nicht nur die Hefezellen im Stande

sind, alkoholische Gährung zu erregen, sondern dass diese Fähigkeit ebenso gut den Zellen höherer Pflanzen eigenthümlich ist. Wir brauchen solche Zellen nur dem Einfluss des freien atmosphärischen Sauerstoffs zu entziehen, um die Bildung von Kohlensäure und Alkohol herbeizuführen.

Dieser Process scheint mir in innigster Beziehung zu der intramolekularen Bewegung der Atome in den Lebenseinheiten zu stehen. Ich gehe von der Voraussetzung aus, dass diese Bewegung eine Dissociation des lebendigen Eiweiss zur Folge hat, als deren Producte wesentlich Kohlensäure, Alkohol, sowie Säureamide, Amidosäuren und eine schwefelhaltige Verbindung anzusehen sind[1][2]. Man könnte sich vorstellen, dass die zur Kohlensäure- und Alkoholbildung nothwendigen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome sich zunächst zu Traubenzucker oder doch wenigstens zu einem Körper vereinigten, der die drei Elemente in dem Verhältnisse, in welchem sie im Traubenzucker vorhanden sind, enthielte, und dass diese Substanz erst das Material zur Kohlensäure- und Alkoholbildung lieferte. Dem Wesen der intramolekularen Bewegung entspricht die Anschauung, wonach sich die Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome ohne Bildung intermediärer Producte direct zu Kohlensäure sowie Alkohol vereinigen, aber entschieden mehr.

Wenn die Pflanzenzellen dem Einfluss des freien atmosphärischen Sauerstoffs ausgesetzt werden, so bleibt die Tendenz zur inneren Athmung in denselben gewiss bestehen. Die Bewegung der Atome der Lebenseinheiten führt jetzt ebenso zur Bildung von Säureamiden, Amidosäuren und schwefelhaltigen Verbindungen, aber die Bildung von Alkohol unterbleibt. Die Atome, welche bei Sauerstoffabschluss zur Bildung von Kohlensäure und Alkohol zusammentreten, müssen bei Sauerstoffzutritt, indem der Sauerstoff auf die Substanz der Lebenseinheiten einwirkt, zum Theil oxydirt werden, und zwar kann dieser Process nach der folgenden Formelgleichung stattfinden:

$$C_6H_{12}O_6 + 10O = 5CO_2 + 5H_2O + CH_2O.$$

Die Gruppe CH_2O kann in der Pflanzenzelle durch Polymerie-

1) Zwar ist die Entstehung von Säureamiden etc. in den sich nicht mit freiem Sauerstoff in Berührung befindenden Zellen noch nicht bewiesen; bezügliche Experimente werden die Richtigkeit meiner Anschauung aber gewiss durch ihre Ergebnisse bestätigen.

2) Eingehenderes über diese Dissociationsprocesse vergleiche in meiner demnächst in Pringsheims Jahrbüchern f. wissenschl. Botanik erscheinenden Abhandlung.

sirung und nachdem sie dann noch Wasser verloren hat in Cellulose ($C_6H_{10}O_5$) übergehen [1]).

Die in Folge der Dissociationsprocesse der Proteinstoffe in den Pflanzenzellen gebildeten Säureamide sowie Amidosäuren besitzen nun, wie an anderer Stelle ausführlich gezeigt werden soll, eine ganz hervorragende Bedeutung für die Translocation stickstoffhaltiger Verbindungen in der Pflanze. Die Proteinstoffe sind nämlich, wie ich durch eingehende Untersuchungen mit aller Sicherheit feststellen konnte, nicht im Stande, von Zelle zu Zelle zu wandern, und es müssen deshalb im vegetabilischen Organismus, zumal dann, wenn es sich darum handelt, wachsenden Pflanzentheilen die in Reservestoffbehältern aufgespeicherten stickstoffhaltigen Verbindungen zuzuführen, oder wenn umgekehrt eine Aufspeicherung derselben in Reservestoffbehältern erfolgen soll, Substanzen gebildet werden, welche leicht translocirbar sind. Die Säureamide sowie Amidosäuren sind in aller erster Linie als Verbindungen anzusehen, welche diese Fähigkeit besitzen, aber ebenso wichtig ist es ferner, dass sie nach erfolgter Translocation zur Proteinstoffregeneration verwendet werden können.

Es ist heute noch nicht möglich, sich eine ganz genaue Vorstellung über diesen Regenerationsprocess zu bilden. Man hat nämlich zu bedenken, dass als Producte der Dissociation der Proteinstoffe verschiedene stickstoffreiche Verbindungen entstehen. Somit liegt dic Möglichkeit vor, dass auch gleichzeitig mehrere stickstoffhaltige Substanzen mit stickstofffreien Körpern zur Neubildung von Proteinstoffen zusammentreten. Derartig complicirte Processe entziehen sich aber vor der Hand noch unserer Beurtheilung. Dagegen ist zu bemerken, dass wir im Stande sind, dem in Rede stehenden Regenerationsprocesse näher zu treten, wenn wir das Verhalten eines einzigen Säureamids oder einer einzigen Amidosäure ins Auge fassen. Und eine derartige Behandlungsweise des Gegenstandes ist um so bedeutungsvoller, als thatsächlich zuweilen nicht sämmtliche stickstoffhaltige Zersetzungsproducte der Eiweisskörper, sondern nur einzelne derselben dem Regenerationsprocesse anheimzufallen scheinen [2]).

---

1) Auf die Untersuchungen, welche zur Aufstellung der vorstehenden Gleichung geführt haben, kommen wir an anderer Stelle zurück. Ueberhaupt wird später erst eine eingehende Begründung der hier geltend gemachten Anschauungen und eine Berücksichtigung der einschlägigen Literatur erfolgen.

2) Damit soll nur gesagt sein, dass zur Zeit lediglich bestimmte Eiweisszersetzungsproducte zur Eiweissneubildung verwendet werden können, während andere, die

Versuchen wir es z. B., uns eine Vorstellung über den sich bei der Regeneration von Proteinstoffen aus Asparagin geltend machenden Process zu bilden, so sind zunächst einige Bemerkungen, die Sachsse[1]) über diesen Vorgang geäussert hat, von erheblichem Interesse:

„Das Molekulargewicht des krystallwasserfreien Asparagins $C_4H_8N_2O_3$ ist 132, zieht man hiervon 2 H_2O ab, so bleibt $C_4H_4N_2O$ mit dem Molekulargewicht 96, oder aus 100 Gewichtstheilen Asparagin werden 73 Gewichtstheile $C_4H_4N_2O$. Diese 73 Gewichtstheile enthalten 36.4 Theile C, 3.0 Theile H, 21.2 Theile N und 12.1 Theile O. In der folgenden Tabelle findet sich demnach angegeben, wie viele Gewichtstheile Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff aufgenommen werden müssen, wenn die 73 Gewichtstheile, die ursprünglich aus 100 stammen, ohne Verminderung des Stickstoffs zu Legumin werden sollen.

	Legumin.	$C_4H_4N_2O$.	Differenz.
C	64.9	36.4	+ 28.5
H	8.8	3.0	+ 5.8
N	21.2	21.2	0
O	30.6	12.1	+ 18.5“

Auf jeden Fall muss sich also eine Kohlenstoff, Wasserstoff, sowie Sauerstoff enthaltende Substanz mit dem Asparagin oder mit einer aus demselben entstandenen Verbindung vereinigen, wenn Proteinstoffe regenerirt werden sollen. Ueber die Natur des stickstofffreien Körpers, der sich an dem Zustandekommen dieses Associationsprocesses betheiligt, sind wir zwar vor der Hand nicht genau unterrichtet, aber nichts desto weniger können wir doch Vermuthungen über dieselbe äussern.

Es ist nämlich eine merkwürdige Thatsache, auf die bereits von anderer Seite hingewiesen worden ist, dass manche Pflanzentheile neben reichlichen Mengen von Säureamiden, sowie Amidosäuren ebenso erhebliche Quantitäten stickstofffreier Körper enthalten. So findet man z. B. in den Knollen der Kartoffeln und in den Wurzeln der Rüben bedeutende Mengen jener Eiweisszersetzungsproducte neben Amylum und Rohrzucker abgelagert[2]). Somit er-

---

allerdings später ebenso zur Proteinstoffneubildung Verwendung finden, sich noch nicht an den chemischen Processen in der Pflanzenzelle betheiligen.

1) Vgl. Sachsse, Die Chemie und Physiologie d. Farbstoffe, Kohlehydrate und Proteinsubstanzen. 1877. S. 254.

2) Vgl. die Angaben von E. Schulze, Urich und Barbieri in den Versuchsstationen. B. 18, S. 296 und B. 21, S. 63.

scheint der Schluss berechtigt, dass diese Kohlehydrate die Umwandlung der Säureamide und Amidosäuren in Protein nicht direct herbeiführen können, denn wären sie dazu im Stande, so würden sich die genannten Eiweisszersetzungsproducte doch sicher nicht in den Knollen und Wurzeln anhäufen. Alle Beobachtungsresultate sprechen vielmehr dafür, dass die Regeneration der Proteinstoffe aus Säureamiden und Amidosäuren durch Glycose vermittelt wird[1]), und in der That stehen der Bildung dieser Substanz in der Pflanzenzelle gar keine Schwierigkeiten entgegen. Bei der Keimung amylumreicher Samen werden z. B. häufig Fermente gebildet, die im Stande sind, die Stärke in Glycose umzuwandeln. So lange dieser Process in ausgiebiger Weise fortschreitet, ist die Eiweissregeneration deshalb möglich. Hört die Glycosebildung dagegen auf, oder ist sie nicht mehr ausgiebig genug, so müssen sich die fortwährend neu entstehenden Eiweisszersetzungsproducte in den Keimpflanzen anhäufen. Derartiges beobachtet man ja thatsächlich häufig genug, und die berührte Erscheinung muss sich namentlich dann geltend machen, wenn sich die Pflanzen bei Lichtabschluss entwickeln, denn unter diesen Umständen reicht die vorhandene Amylummenge alsbald nicht mehr aus, um das Material zur Eiweissneubildung zu liefern. Wachsen die Pflanzen unter dem Einflusse des Lichtes, so erfolgt die Proteinstoffzersetzung genau in derselben Weise wie in totaler Finsterniss, aber jetzt macht sich eine Anhäufung von Säureamiden, sowie von Amidosäuren gar nicht oder doch nur in beschränktem Masse geltend, weil durch den Assimilationsprocess fortwährend neue Stärkemengen, die in Glycose umgewandelt werden können, entstehen[2]).

Wahrscheinlich ist es, dass die im Glycosemolekül vorhandenen Atome sich sämmtlich an dem Zustandekommen des Processes der Eiweissregeneration aus Säureamiden und Amidosäuren betheiligen; immerhin muss aber die Frage wenigstens im Auge behalten werden, ob der in Rede stehende Vorgang nicht vielleicht mit innerer Athmung verbunden ist. Man kann sich nämlich vorstellen, dass die Eiweissregeneration, gerade so wie der Process

---

1) Man vgl. z. B. die Bemerkungen Borodin's: Botan. Zeitung. 1878. S. 830.

2) Complicirter gestalten sich die Processe der Eiweissregeneration in solchen Fällen, in denen nicht Amylum, sondern z. B. Fett als stickstofffreies Material zur Disposition steht. Wenn sich Keimpflanzen fettreicher Samen im Dunkeln ausbilden, so ist anzunehmen, dass das fette Oel zunächst eine theilweise Oxydation erfährt, und dass nun erst die entstandenen organischen Producte (Stärke) in Glycose, die sich mit Säureamiden und Amidosäuren vereinigt, umgewandelt werden.

der Entstehung von Eiweisskörpern aus Salpetersäure oder Ammoniak und Kohlehydraten, von Wasser- und Kohlensäurebildung begleitet ist. Dann würden also nicht sämmtliche Atome des Glycosemoleküls wieder in den Proteinstoffen erscheinen, sondern bestimmte Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatome müssten sich zu Kohlensäure und Wasser vereinigen[1]).

Uebrigens würde es nicht gerade bedeutende Schwierigkeiten mit sich bringen, der aufgeworfenen Frage auf experimentellem Wege näher zu treten. Man weiss, dass verschiedene organische Stickstoffverbindungen, die man den Pflanzen darbietet, von denselben verarbeitet werden können[2]), und man hätte nur durch zweckentsprechend geleitete Experimente zu prüfen, ob mit dieser Verarbeitung eine Steigerung der Kohlensäureproduction verbunden ist, oder ob sich eine solche nicht geltend macht.

Viertes Capitel.

Die Entstehung von Säureamiden und Amidosäuren bei der Keimung.

In dem vorigen Capitel ist das Asparagin bereits als eine Substanz bezeichnet worden, welche sich bei der Dissociation der Proteinstoffe in der Pflanzenzelle sehr häufig bildet und für die Translocation stickstoffhaltiger Verbindungen im vegetabilischen Organismus eine ganz hervorragende Bedeutung besitzt. Das Asparagin (Amidobernsteinsäureamid) besitzt im krystallwasserfreien Zustande die Formel $C_4H_8N_2O_3$. Das Säureamid löst sich schwer in kaltem, dagegen leicht in warmem Wasser auf; in Alkohol ist es unlöslich. Von hervorragender Wichtigkeit ist die Thatsache, dass das Asparagin beim Kochen mit Wasser, weit leichter aber beim Erhitzen mit Alkalien oder Säuren, indem die Gruppe NH_2

---

1) Vgl. hierüber einige Notizen von Henneberg, Versuchsstationen. B. 16, S. 184.

2) Nach Knop und W. Wolf (vgl. chem. Centralblatt, 1866, S. 774 und Versuchsstationen, 1868, S. 13) können Leucin, Tyrosin und Glycokoll von höheren Pflanzen verarbeitet werden. Aehnlich verhalten sich die Pflanzen nach Hampe (vergl. Versuchsstationen, 1868, S. 180) der Harnsäure sowie der Hippursäure, nach Bente (vgl. Journal f. Landwirthschaft, 1874, S. 113) dem Asparagin und nach Wagner (vgl. Versuchsstationen, 1871, S. 69) dem Kreatin gegenüber. Ebenso ist der Hefepilz nach A. Mayer (vgl. Lehrbuch der Gährungschemie, 1874, S. 114) im Stande, seinen Stickstoffbedarf aus Allantoin, Harnstoff, Guanin und Asparagin zu schöpfen.

austritt, die Gruppe HO aber aufgenommen wird, in Asparaginsäure und Ammoniak zerfällt:

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ C_2H_3NH_2 \\ | \\ CONH_2 \end{array} + H_2O = \begin{array}{l} COOH \\ | \\ C_2H_3NH_2 \\ | \\ COOH \end{array} + NH_3$$

Asparagin. Asparaginsäure.

Das Asparagin wurde bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts in den Spargeln, den Schösslingen von Asparagus officinalis, entdeckt. Seitdem ist das Vorhandensein des Asparagins in vielen anderen Pflanzen constatirt worden [1]), und für uns besitzt die Thatsache besondere Wichtigkeit, dass viele Keimpflanzen reichliche Quantitäten des Säureamids führen.

Die meisten ruhenden Samen enthalten, soweit die Untersuchungen reichen, kein Asparagin. Bis jetzt hat man nur in den Mandelsamen die Gegenwart des Asparagins constatiren können [2]). Als Keimpflanzen, in denen man bereits die Gegenwart von Asparagin nachgewiesen hat, sind namentlich die folgenden zu nennen:

Hordeum vulgare [3]);
Zea Mays [4]);
Tropaelum majus [5]);
Solanum tuberosum? [6]);
Cucurbita Pepo [7]);
Silybum marianum [8]);
Helianthus tuberosus;
Mimosa pudica [9]);

---

1) A. und Th. Husemann stellen auf Seite 671 ihres Werkes über die Pflanzenstoffe, diejenigen Pflanzen zusammen, in denen bis zum Jahr 1871 Asparagin gefunden worden war.

2) Man vgl. hierüber Portes und Prunier, Comptes rendus. T. 83, p. 912.

3) Vgl. Lerner, Dinglers polytechnisches Journal. B. 179, S. 71. Lerner giebt auch an, dass Gerstenkeimlinge organische Säuren enthalten. Diese Angaben sind aber wenig vertrauenerweckend.

4) Vgl. Detmer, Physiol.-chem. Untersuchungen über die Keimung etc. 1875. S. 74.

5) Vgl. Pfeffer: Botan. Zeitung. 1874. S. 256.

6) Vgl. H. de Vries: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 7, S. 29. Die Frage, ob die Keimpflanzen von Solanum wirklich Asparagin enthalten, bedarf noch weiterer Prüfung.

7) Vgl. E. Schulze und Barbieri: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 6, S. 692.

8) Vgl. Pfeffer, Pringsheims Jahrbücher f. wissenschl. Botanik. B. 8, S. 560.

9) Vgl. Pfeffer: Botan. Zeitung. 1874. S. 256.

Acacia Jophanta[1];
Trifolium pratense[2];
Lupinus luteus[3];
„ varius;
Medicago tuberculata;
Tetragonellus purpureus;
Pisum sativum;
Vicia sativa;
Phaseolus multiflorus[4];

Weitere Forschungen werden sicher zu dem Resultate führen, dass noch viele andere Keimpflanzen Asparagin enthalten, ja man kann wohl mit Bestimmtheit behaupten, dass z. B. in den Keimpflanzen sämmtlicher Papilionaceensamen Asparagin in grossen Quantitäten auftritt. Einige Keimpflanzen scheinen aber zu existiren, in denen das Vorhandensein des Asparagins nicht direct constatirt werden kann. So giebt Pfeffer in seiner zuletzt citirten Abhandlung an, dass es ihm niemals gelungen sei, das Säureamid in den Keimpflanzen von Specularia speculum und Ricinus aufzufinden[5]. Damit ist aber noch nicht definitiv gesagt, dass in solchen Keimpflanzen überhaupt gar kein Asparagin entsteht. Es muss nämlich Berücksichtigung finden, worauf wir weiter unten eingehend zurückkommen werden, dass Proteinstoffe aus Asparagin regenerirt werden können. Denkt man sich den Fall, dass dieser Process sehr leicht und schnell in einer Pflanze zur Geltung kommt, so kann offenbar dies eintreten, dass das Asparagin zwar in nicht unerheblichen Mengen entsteht, sich aber in Folge seiner Verwendung zur Eiweissbildung nicht in genügenden Quantitäten in den Pflanzenzellen anhäuft, um mit Hülfe einer der vorhandenen Methoden nachgewiesen werden zu können. Ein derartiges Verhältniss macht sich thatsächlich, wie Borodin[6] gezeigt hat, in den am Licht wachsenden Sprossen vieler Pflanzen

---

1) Vgl. Pfeffer: Ebendaselbst.

2) Vgl. H. de Vries: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 6, S. 508.

3) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher. B. 8, S. 530. Viele andere Forscher haben ferner ebenso das Auftreten des Asparagins bei der Keimung der Papilionaceensamen constatiren können.

4) Vgl. Dessaignes und Chautard, Journal f. prakt. Chemie. B. 45, S. 50.

5) Gewisse Verhältnisse, die später berührt werden sollen, lassen es mir dennoch höchst wahrscheinlich erscheinen, dass wenigstens während der letzten Entwickelungsstadien in Keimpflanzen, die sich im Dunkeln ausbilden, und die sonst asparaginfrei sind, das Säureamid angehäuft wird.

6) Vgl. Borodin: Botan. Zeitung. 1879. Nr. 51 und 52.

geltend, und ich bin der Ansicht, dass ebenso in Keimpflanzen, mögen sich dieselben bei Zutritt oder bei Abschluss des Lichtes entwickeln, stets Asparagin entsteht, und dass sich das Säureamid zuweilen nur in Folge secundärer Umstände der Beobachtung entzieht. Wenn wir den soeben hervorgehobenen Gesichtspunkt festhalten, so wird nicht nur die Thatsache unserem Verständnisse näher gerückt, dass in manchen Keimpflanzen sehr viel, in anderen aber gar kein Asparagin direct nachzuweisen ist, sondern es wird ebenso die Erscheinung erklärlich, wie an anderer Stelle eingehender gezeigt werden soll, dass die in verschiedenen Keimpflanzen, in denen es überhaupt zu einer Asparaginansammlung kommt, thatsächlich nachweisbaren Quantitäten des Säureamids nicht dieselben sind. Namentlich häuft sich das Asparagin in den Keimpflanzen der Papilionaceen (zumal in Lupinenkeimlingen) und Mimoseen in sehr erheblichen Mengen an, während in den Keimpflanzen anderer Samen nur geringe Asparaginquantitäten aufgefunden werden können. Einige specielle Angaben mögen hier zur ungefähren Orientirung über den Asparagingehalt verschiedener Keimpflanzen dienen:

Dessaignes und Chautard[1]) ermittelten die Asparaginmengen, welche sich aus einem bestimmten Volumen Saft verschiedener Keimpflanzen gewinnen liessen. Sie erhielten aus

1 Liter	Saft	von	Erbsenkeimpflanzen	9.2	Grm.	Asparagin
1 „	„	„	Bohnenkeimpflanzen	14.0	„	„
1 „	„	„	Schminkbohnenkeimpflanzen	5.6	„	„
1 „	„	„	Wickenkeimpflanzen	9.2	„	„

Boussingault[2]) liess 246 Stück = 201 Grm. Bohnen bei Lichtabschluss keimen. Die 20 Tage alten Keimpflanzen, welche selbstverständlich nicht mehr den Trockensubstanzgehalt wie die ursprünglich ausgelegten Samen zeigten, enthielten 5.4 Grm. Asparagin.

Sachsse[3]) liess abgewogene Erbsenmengen in Berührung mit destillirtem Wasser keimen. Zu den Pflanzen der einen Reihe hatte das Licht Zutritt, während es von denjenigen einer anderen Reihe abgehalten wurde. Nach bestimmter Zeit wurden die Pflanzen gesammelt und unter Vermeidung aller Verluste zu einem feinen Brei zerrieben, um nunmehr den Asparagingehalt des Un-

---

1) Vgl. Dessaignes und Chautard, Journal f. prakt. Chem. B. 45, S. 50.

2) Vgl. Boussingault, Comptes rendus. T. 58, S. 917.

3) Vgl. Sachsse, Versuchsstationen. B. 17, S. 88.

tersuchungsmaterials festzustellen. Die folgende Tabelle giebt die Resultate der Untersuchungen, ausgedrückt in Procenten der ursprünglich angewandten lufttrockenen Samenmengen. Es enthielten Erbsenkeimlinge, erzogen

	im Dunkeln.	bei Lichtzutritt.	
nach 6 Tagen	0.46 %	0.69 %	Asparagin
„ 10 „	0.92 „	1.32 „	„
„ 15 „	2.68 „	2.50 „	„
„ 24 „	7.04 „	6.94 „	„

Sachsse hebt selbst hervor, dass auf die für den Asparagingehalt der 24 Tage alten Keimpflanzen ermittelten hohen Werthe kein all zu grosses Gewicht zu legen sei, da die Cotyledonen derselben in Fäulniss übergegangen waren. Auf jeden Fall ersieht man aber aus den vorstehenden Angaben, dass der absolute Asparagingehalt der im Dunkeln und der bei Lichtzutritt cultivirten Erbsenkeimpflanzen fast genau derselbe ist, ein Moment, dem wir weiter unten eingehende Berücksichtigung zu schenken haben. Der procentische Asparagingehalt der Trockensubstanz der bei Zutritt des Lichtes erwachsenen Keimpflanzen muss selbstverständlich dem Asparagingehalt der im Dunkeln erwachsenen Pflanzen gegenüber geringer gewesen sein, denn unter dem Einflusse des Lichtes vermochten die Untersuchungsobjecte zu assimiliren, und ein Theil der durch Stoffwechselprocesse zerstörten organischen Substanz konnte ersetzt werden, so dass die Pflanzen der Lichtreihe bei Abschluss der Versuche grössere Trockensubstanzmengen als diejenigen der Dunkelreihe enthalten mussten.

Ganz besonders massenhaft entsteht das Asparagin, wie bereits angeführt worden ist, bei der Keimung der Lupinensamen. In der That haben z. B. E. Schulze und W. Umlauft[1]) gefunden, dass die Trockensubstanz 12 Tage alter im Finstern erwachsener Keimpflanzen von Lupinus luteus zu etwa 20 % aus wasserfreiem Asparagin besteht.

Während also die Keimpflanzen der Papilionaceensamen — und analog verhalten sich diejenigen der Mimoseensamen — stets recht bedeutende Asparaginquantitäten enthalten, häuft sich das Säureamid in den Keimpflanzen anderer Samen, z. B. der Gerste, des Mais und des Kürbis, nur in untergeordneten Mengen an. Dabei macht sich unter Umständen dies Verhältniss geltend, dass sich in

---

1) Vgl. E. Schulze und W. Umlauft: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 5, S. 849.

den Keimpflanzen bis zu einem gewissen Zeitpunkte überhaupt gar kein Asparagin nachweisen lässt, während allerdings später geringe Mengen des Säureamids in den Untersuchungsobjecten zu entdecken sind [1]).

Was die quantitative Bestimmung des Asparagins in Pflanzentheilen anbelangt, so verfuhr man dabei früher derartig, dass man das Asparagin aus den wässerigen Pflanzenextracten unter Zuhülfenahme von Alkohol in Substanz abzuscheiden suchte. Es liegt in der Natur der Sache, dass diese Methode nicht zu besonders genauen Resultaten führen kann, und aus diesem Grunde verdient es besonderer Beachtung, dass Sachsse [2]) vor einiger Zeit eine neue, sehr brauchbare Methode zur exacten quantitativen Bestimmung des Asparagins ausgearbeitet hat. Diese Methode gründet sich darauf, dass das Asparagin beim Kochen mit Salzsäure Asparaginsäure und Ammoniak liefert, und dass man im Stande ist, die Quantität des entstandenen Ammoniaks dann leicht mit Hülfe einer Lösung von unterbromigsaurem Natron im Azotometer zu bestimmen [3]).

Sachsse hat verschiedene Bestimmungen mit reinem Asparagin zur Controle der erwähnten Methode ausgeführt; ich habe ebenfalls solche Untersuchungen mit den nachfolgenden Ergebnissen angestellt [4]).

Es wurde eine grössere Quantität reinen, krystallisirten Asparagins in Wasser aufgelöst. 30 Cc. dieser Lösung enthielten 0.1273 Grm. Asparagin. Ein gewisses Quantum dieser Lösung wurde $1\frac{1}{4}$ Stunden lang unter Ersatz des verdunstenden Wassers mit Salzsäure gekocht [5]). Nach dem Erkalten der Flüssigkeit kann man unmittelbar zur Bestimmung des Ammoniaks schreiten, in-

---

1) Vgl. Detmer: Physiolog.-chem. Untersuchungen über die Keimung etc. 1875. S. 80.

2) Vgl. Sachsse, Journal f. prakt. Chem. Neue Folge. B, 6, S. 118. Vgl. ebenfalls Versuchsstationen. B. 16, S. 61.

3) Das beim Kochen mit Salzsäure aus dem Asparagin entstandene Ammoniak ist in der Flüssigkeit natürlich in Form von Chlorammonium vorhanden. Neutralisirt man die Lösung und behandelt sie alsdann mit bromiter Lauge, so entweicht Stickstoff, dessen Menge man im Azotometer bestimmen kann. Vgl. Knop: Chem. Centralblatt. 1860. S. 257.

4) Vgl. Detmer: Physiologisch-chem. Untersuchungen über die Keimung etc. 1875. S. 77.

5) Auf je 10 Cc. der Lösung wurde 1 Cc. Salzsäure in Anwendung gebracht.

dem man die Lösung mit etwas Natronlauge neutralisirt und sie darauf im Azotometer mit der bromirten Lauge in Berührung bringt. In der folgenden Tabelle sind die Resultate meiner Bestimmungen zusammengestellt. In Columne 1 ist die angewandte Asparaginmenge verzeichnet. In Columne 2 ist die Temperatur in ° C., unter 3 der Barometerstand in Mm., unter 4 das abgelesene Gasvolumen in Cc., unter 5 das auf 0° C. und 760 Mm. Barometerstand reducirte Gasvolumen in Cc., unter 6 das daraus berechnete Gewicht des Stickstoffs in Grm. und unter 7 die gefundene Asparaginmenge in Grm. angegeben.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
0.1273	24.0	755	10.4	9.5	0.0119	0.1275
0.1273	24.0	755	10.4	9.5	0.0119	0.1275
0.1273	24.0	755	10.7	9.7	0.0122	0.1307
0.1273	24.0	748	11.0	9.9	0.0124	0.1343
0.0848	25.0	759	6.8	6.2	0.0078	0.0843

Sachsse hat sich davon überzeugt, und ich habe dasselbe gethan, dass die hier erwähnte Methode ebenso genaue Resultate liefert, wenn man wässerige Samenextracte, die an sich kein Asparagin enthalten, nachdem man denselben eine bekannte Asparaginquantität hinzugefügt hat, untersucht [1])[2]).

Zur Bestimmung des Asparagins in Keimpflanzen verfährt man am zweckmässigsten derartig, dass man eine grössere Quantität derselben, ohne sie jedoch vorher getrocknet zu haben, mit 200 Cc. Wasser übergiesst, nachdem man das Untersuchungsmaterial zuvor zu einem feinen Brei zerrieben hat. Wenn man jetzt $\frac{3}{4}$ — 1 Stunde lang einen kräftigen Strom gewaschener Kohlensäure in die Flüssigkeit einleitet, so wird sie, wie Sachsse gefunden hat, sehr leicht filtrirbar [3]). Man filtrirt unter Benutzung eines trockenen Faltenfilters ein bestimmtes Flüssigkeitsquantum ab und verwendet die erhaltene Lösung zu den Asparaginbestimmungen.

Beachtenswerth ist noch der Umstand, dass manche Samen sowie Keimpflanzen einen in Wasser löslichen Stoff enthalten, der bereits ohne vorherige Behandlung mit Salzsäure in Berührung

1) Vgl. Detmer: Physiologisch-chem. Untersuchungen über die Keimung etc. 1875. S. 78.

2) Auf eine auch bei solchen Bestimmungen nicht zu übersehende Vorsichtsmassregel kommen wir sogleich noch zurück.

3) Die Kohlensäure ist für denjenigen, der sich mit der Untersuchung wässeriger Samenextracte etc. beschäftigt, ein ganz vortreffliches Mittel, um klare Filtrate zu gewinnen. Ich habe oft Gelegenheit gehabt, mich von dem hohen Werthe der Methode Sachsses zu überzeugen.

mit bromirter Lauge Stickstoff liefert. Es ist deshalb nothwendig, wenn derartige Körper vorhanden sind, über deren Natur man übrigens noch nicht genau unterrichtet ist, bei der Bestimmung des Asparagins von der Stickstoffmenge, die nach der Behandlung der Flüssigkeiten mit Salzsäure gewonnen wird, diejenige Stickstoffmenge zu subtrahiren, welche ein bekannter Theil der wässerigen Extracte vor dem Kochen mit Säure im Azotometer ausgiebt.

In methodologischer Beziehung verdient es Interesse, dass E. Schulze und Umlauft[1]) kürzlich den Asparagingehalt der Keimpflanzen von gelben Lupinen einerseits durch directe Abscheidung des Säureamids, andererseits unter Benutzung der Sachsseschen Methode bestimmten. Die analytischen Ermittelungen führten zu den folgenden Resultaten:

Alter der Keimpflanzen.	Procentischer Gehalt der Keimpflanzentrockensubstanz an wasserfreiem Asparagin.	
	Durch Krystallisation bestimmt.	Nach der Sachsseschen Methode bestimmt.
12 Tage	20.5	22.3
12 „	17.7	19.9
12 „	18.1	19.0

Durch Krystallisation wurde also stets etwas weniger Asparagin in den Lupinenkeimlingen als nach der Sachsseschen Methode gefunden. Ein solches Resultat war a priori zu erwarten, da es nicht wohl möglich ist, die letzten Asparaginreste aus der Mutterlauge der wässerigen Extracte abzuscheiden.

Selbstverständlich musste es für die Pflanzenphysiologie von grosser Bedeutung sein, ein Mittel zu besitzen, mit Hülfe dessen man im Stande war, das Asparagin auf mikrochemischem Wege in den Pflanzen nachweisen zu können. Die quantitativen chemischen Methoden leisten uns allerdings für die Entscheidung gewisser Fragen der Physiologie ausgezeichnete Dienste, aber sie setzen uns z. B. nicht in den Stand, die Translocation des Asparagins in der Keimpflanze eingehend zu verfolgen; hier bedürfen wir der mikrochemischen Beobachtung.

Es ist bekannt, dass das Asparagin eine Substanz repräsen-

1) Vgl. E. Schulze und Umlauft: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5. S. 849.

tirt, die sich zwar in Wasser auflöst, die aber völlig unlöslich in Alkohol ist. Dies Verhalten des Asparagins wurde bereits von Th. Hartig[1]) zur mikrochemischen Nachweisung des Säureamids in Pflanzentheilen benutzt, eine Methode, die Pfeffer[2]) neuerdings weiter ausgebildet hat. Nach Pfeffer verfährt man bei der mikrochemischen Nachweisung des Asparagins je nach Umständen in verschiedener Weise. In erster Linie aber handelt es sich doch stets darum das Säureamid mit Hülfe von Alkohol in Krystallen, welche bekanntlich eine sehr charakteristische Form besitzen, abzuscheiden[3]). Ist das Asparagin in den zu untersuchenden Pflanzentheilen in reichlicher Menge vorhanden, wie z. B. in den bei Lichtabschluss erwachsenen Lupinenkeimlingen, so kann man das Säureamid unmittelbar in den Pflanzentheilen niederschlagen. Man bringt zu dem Zwecke Schnitte von solcher Dicke, dass nicht alle Zellen geöffnet sind, in einem Uhrglase mit Alkohol in Berührung und befördert durch Herumschwenken das Eindringen des Alkohols in die Zellen. Sind die Zellen hingegen arm an Asparagin, so gelingt der Nachweis desselben auf die angegebene Weise nicht mehr. In diesem Falle legt man Schnitte von mässiger Dicke auf den Objectträger und lässt nunmehr zu diesen Alkohol treten, mit der Vorsicht, dass derselbe nicht zu schnell in die Zellen eindringt, damit das Asparagin aus diesen herausdiosmosiren kann. Das Säureamid schiesst dann in der Nähe der Objecte oder auf diesen selbst in leicht kenntlichen Krystallen an, welche unter günstigen Bedingungen erhebliche Grösse erreichen können.

Ein dem Princip nach von der erwähnten Methode verschiedenartiges Verfahren zur Nachweisung des Asparagins ist neuerdings mit gutem Erfolg von Borodin[4]) in Anwendung gebracht worden[5]). Als Reactiv dient dabei das Asparagin selbst. Alles was Asparagin ist, muss in einer gesättigten Asparaginlösung unlöslich sein. Handelt es sich demnach um die Entscheidung der Frage, ob ein Krystall, den man aus Pflanzenzellen abgeschieden

1) Vgl. Th. Hartig, Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims. Leipzig, 1858.

2) Vgl. Pfeffer, Pringsheims Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik. B. 8. S. 530.

3) Ueber die Krystallformen des Asparagins vergl. man Pasteur, Annl. de Chem. et de Phys, III ser., T. 31, p. 70 sowie Pfeffers zuletzt citirte Abhandlung.

4) Vgl. Borodin: Botan. Zeitung. 1878. Nr. 51.

5) Das Princip dieser Methode lässt sich bestimmt für die Nachweisung mancher Pflanzenstoffe verwerthen.

hat, als Asparagin oder als eine anderweitige Substanz anzusprechen ist, so braucht man denselben nur unter dem Mikroskop mit einem Tropfen einer vollkommen gesättigten Asparaginlösung in Berührung zu bringen. Ein Asparaginkrystall wird von der gesättigten Lösung nicht aufgenommen, während andere Krystalle sich in derselben auflösen.

Indem wir nunmehr dazu übergehen, die Entstehung des Asparagins in den Keimpflanzen genauer ins Auge zu fassen, sei zunächst erwähnt, dass bereits Hartig[1]) die Ansicht aussprach, das Asparagin entstehe bei der Keimung aus den Proteinstoffen. Ebenso sprach Hartig schon gewisse Anschauungen über die physiologische Bedeutung des Asparagins aus. Die Krystalle, welche der genannte Forscher mit Hülfe von Alkohol aus Pflanzengeweben abschied, bezeichnete er als „Gleis.“ Dieselben sollen im Wesentlichen aus einer stickstoffhaltigen asparaginartigen Substanz bestehen und eine sehr allgemeine Verbreitung im Pflanzenreich besitzen.

Nach Boussingault[2]) soll das bei der Keimung entstehende Asparagin nur als ein Nebenproduct des Stoffwechsels aufzufassen sein. Wie Harnstoff im thierischen Organismus entsteht, so soll sich in der Pflanze bei entsprechenden Vorgängen Asparagin bilden. Wenn die Keimpflanze so weit ausgebildet ist, dass sie, dem Licht ausgesetzt, lebhaft zu assimiliren vermag, so wird nach Boussingault kein Asparagin mehr gebildet, ja das vorhandene Säureamid wird unter diesen Umständen in anderweitige Verbindungen übergeführt und verschwindet somit als solches aus dem Organismus.

Sachs[3]) hat ebenfalls bereits früher hervorgehoben, dass ein Theil der Proteinstoffe der ruhenden Samen wahrscheinlich bei der Keimung derselben tiefgreifende Zersetzungen erleide, und namentlich scheint ihm eben das Auftreten des Asparagins in den Pflanzen hierfür zu sprechen. Bei weiterer Entwickelung der Pflanzen, zumal aber unter dem Einflusse des Lichtes, kann das Asparagin nach Sachs möglicherweise zur Bildung von Eiweissstoffen Verwendung finden.

Die genannten Beobachter befanden sich wohl auf dem rich-

---

1) Vgl. Hartig, Entwickelungsgeschichte des Pflanzenkeims. Leipzig, 1858 S. 129.

2) Vgl. Boussingault, Comptes rendus. T. 58. p. 917.

3) Vgl. Sachs, Experimentalphysiologie. S. 344.

tigen Wege zur Erforschung der physiologischen Bedeutung des Asparagins, aber sie haben denselben nicht weit genug verfolgt, um zu Ergebnissen von allgemeinerer Bedeutung zu gelangen. Erst als Pfeffer [1]) die Frage nach der Entstehung und der Function des Asparagins im vegetabilischen Organismus behandelte, wurde dieselbe zu einer der wichtigsten auf dem gesammten Gebiete der Physiologie erhoben, und es ist vor allen Dingen das Verdienst Pfeffers gewisse Punkte, um die es sich hier handelt, mit aller Schärfe ins Auge gefasst zu haben. Allerdings wissen wir heute, dass das Asparagin eine viel allgemeinere Verbreitung in den Pflanzen besitzt, als Pfeffer ursprünglich glaubte, aber dennoch ist nicht zu verkennen, dass der genannte Forscher nicht nur die wesentlichste Anregung zu den neueren Arbeiten über das Auftreten des Asparagins gegeben hat, sondern dass er ebenso auf die wichtigsten leitenden Gesichtspunkte, welche bei der Behandlung der hier in Rede stehenden Probleme Berücksichtigung finden müssen, zuerst mit aller Bestimmtheit hinwies. Dies wird zumal klar hervortreten, wenn wir die Frage nach der Regeneration der Proteinstoffe aus Asparagin einer eingehenderen Discussion zu unterziehen haben.

Es erscheint zweckmässig, unsere Aufmerksamkeit vor der Besprechung der Ergebnisse, zu denen Pfeffer bei seinen angeführten Untersuchungen gelangt ist, einigen Arbeiten zuzuwenden, in denen die Frage nach dem Auftreten des Asparagins unter Benutzung quantitativer chemischer Methoden behandelt worden ist.

Eine eingehende Untersuchung über das Auftreten des Asparagins hat A. Beyer ausgeführt [2]). Er wählte die gelbe Lupine zu seinem Untersuchungsobjecte, und cultivirte die Samen derselben in gereinigtem Sande. Die ganze Keimungszeit, welche ca. 8—12 Tage umfasste, wurde in zwei Perioden eingetheilt. Die erste Periode bezeichnet einen Fortschritt der Keimung bis zur Zeit, wo die Cotyledonen die Samenschale noch nicht gesprengt, und Wurzel sowie hypocotyles Glied eine Länge von 1—1½ Zoll erreicht haben. In der zweiten Periode sind die Cotyledonen sämmtlich über die Erde hervorgetreten, haben die Schale zwar noch nicht abgeworfen, aber fangen an, sich grün zu färben. Der ganze Keim ist 2—3 Zoll lang.

Bei der Ausführung der Analysen sind die Samenschalen nie-

1) Vgl. Pfeffer, Pringsheims Jahrb. f. wissenschl. Botanik. B. 8. S. 530.
2) Vgl. Beyer, Versuchsstationen. B. 9. S. 168.

mals mit berücksichtigt worden. Was die Bestimmung des Asparagins, also desjenigen Körpers anbelangt, der uns vor allen Dingen interessirt, so wurde ein Theil des wässerigen Extractes der Untersuchungsobjecte zur Syrupconsistenz eingeengt und zur Krystallisation gebracht. Die Krystalle wurden gesammelt, abgewaschen und bei 100° C. getrocknet [1]).

Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen Beyers theilen wir in den beiden folgenden Tabellen mit:

1000 Stück bei 100° C. getrockneter Samen und Keimpflanzen wogen Grm.:

	Cotyledonen	hypocotyles Glied	Wurzel	in Summa	Verlust in %
Ungekeimte . . .	80.1	—	—	—	—
I. Periode . . .	72.89	4.97	2.12	79.98	—
II. „ . . .	66.60	6.67	4.47	77.74	2.95 [2]).

In 1000 Stück bei 100° C. getrockneter Samen und Keimpflanzen waren enthalten Grm.:

	Ungekeimte Samen	I. Periode.			II. Periode.		
		Cotyledonen	hypocotyles Glied	Wurzel	Cotyledonen	hypocotyles Glied	Wurzel
Fettes Oel	4.832	4.336	0.189	0.078	3.136	0.178	0.125
Mineralstoffe	3.384	3.025	0.323	0.150	2.876	0.440	0.317
Eiweisskörper	49.075	44.250	1.491	0.540	40.263	1.806	1.028
Asparagin	—	—	0.521	0.224	0.965	0.977	0.670
Zucker- und Bitterstoffe [3])	8.498	11.017	1.839	0.714	10.349	2.268	1.297
Gummi	5.542	3.521			1.784		
Zellstoff, Stärke, Pectinkörper	8.869	6 700	0.604	0.411	7.224	0.998	1.031
Absoluter Stickstoffgehalt	7.852	7.080	0.348	0.134	6.646	0.496	0.306
In Wasser lösliche Eiweisskörper (?) . . .	8.741	15.070	0.0756	0.056	17.615	0.112	0.164

1) Zur Nachweisung der Identität der abgeschiedenen Krystalle mit Asparagin wurde der Stickstoffgehalt derselben mehrfach bestimmt.

2) Ganz räthselhaft erscheint es, dass Beyers Keimpflanzen während der ersten Periode ihrer Entwickelung gar keinen, während der zweiten aber einen relativ nur sehr geringen Trockensubstanzverlust erlitten. Zwar fand die Entwickelung der Untersuchungsobjecte nicht bei Lichtabschluss statt, aber es ist zu betonen, dass die Cotyledonen, wie Beyer selbst bemerkt, erst zu Ende der zweiten Keimungsperiode ergrünten.

3) Bemerkt sei noch, dass Beyer das Vorhandensein der sogen. Bitterstoffe in den Keimpflanzen mit Hülfe der bereits früher erwähnten Jodreaction constatiren konnte.

Aus diesen Angaben ergiebt sich insbesondere:

1. Dass bei der Keimung der gelben Lupine Asparagin in erheblicher Menge erzeugt wird.

2. In dem Masse, als Asparagin entsteht, sehen wir die Eiweissstoffe verschwinden.

3. Ein grosser Theil der in Samen vorhandenen in Wasser unlöslichen Eiweissstoffe wird bei der Keimung in lösliche Proteinstoffe umgewandelt.

Neuerdings haben E. Schulze und Umlauft[1]) die Samen der gelben Lupine und die bei vollkommenem Lichtabschluss erwachsenen Keimungsproducte derselben einer sehr eingehenden chemischen Untersuchung unterzogen. Die erste Keimungsperiode wurde nach 8 Tagen als abgeschlossen betrachtet, wenn das hypocotyle Glied begann, eine rasche Streckung zu zeigen.

Bei den Pflanzen der zweiten Periode liessen die Experimentatoren die Keimung 13 Tage lang fortdauern. Es war dann eine Verlangsamung des Wachsthums eingetreten, welche anzudeuten schien, dass die Reservestoffe grösstentheils verbraucht waren. Der Substanzverlust der Untersuchungsobjecte während der Keimung hatte sich (bezogen auf das Trockensubstanzgewicht der ausgelegten Samen) wie folgt gestaltet:

Verlust während Periode	I	12.64 %
„ „ „	I und II	18.31 „

Hinsichtlich der Methode der chemischen Untersuchung der Samen und Keimungsproducte müssen wir auf die umfänglichen Darlegungen E. Schulzes und Umlaufts in ihrer Abhandlung verweisen. Wir beschränken uns hier darauf, einige der wichtigsten Resultate der Beobachtungen zur Kenntniss zu bringen, und zwar ist in der folgenden Tabelle unter I der Gehalt von 100 Gewthl. der Samen an stickstoffhaltigen Substanzen mitgetheilt. Die Zahlen unter II und IV beziehen sich auf die Zusammensetzung eines Quantums der Keimungsproducte des ersten und zweiten Entwickelungsstadiums, welches aus 100 Gewthl. der Samen erhalten wurde. Die Werthe unter III und V drücken die Differenzen zwischen den Zahlen der ersten und zweiten, respect. der zweiten und vierten Columne aus[2]).

---

1) Vgl. E. Schulze und Umlauft: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5. S. 821.

2) Die Testa der Samen ist bei den Untersuchungen nicht mit in Berücksichtigung gezogen worden.

		I.	II.	III.	IV.	V.
Unlöslich in Wasser	Conglutin	40.32	21.40	— 18.92	10.25	— 11.15
Löslich in Wasser	Albumin [1])	1.50	3.53	+ 2.03	1.41	— 2.12
	Conglutin	3.25	—	— 3.25	—	—
	Asparagin	—	9.78	+ 9.78	18.22	+ 8.44
	Amidosäuren, Alkaloïde, organische Säuren und unbestimmte Stoffe	13.58	27.08	+ 13.50	24.54	— 2.54

Ueberblickt man die Ergebnisse der Untersuchungen von Beyer sowie von Schulze und Umlauft, so zeigt sich deutlich, dass der Gehalt der Lupinenpflanzen an Proteinstoffen, speciell an Conglutin, sich mit fortschreitender Entwickelung mehr und mehr vermindert. Der Umstand, dass die Keimpflanzen nicht in der Lage waren, neue Quantitäten stickstoffhaltiger Substanzen zu bilden, und der weitere, dass das Conglutin unter allen Umständen mehr und mehr aus den Untersuchungsobjecten verschwand, lassen das Asparagin auf alle Fälle als Zersetzungsproduct des genannten Proteinstoffs erscheinen. Ebenso ist die Thatsache von Interesse, dass wenigstens bestimmt während der ersten Keimungsstadien der Lupine Albumin gebildet wird. Es ist möglich, dass dieses Albumin auf Kosten eines Theils des durch die Conglutinzersetzung producirten Asparagins entsteht; andererseits liegt aber auch die Möglichkeit vor, dass das Albumin direct aus Conglutin hervorgegangen ist [2]).

Im unmittelbaren Anschlusse an diese makrochemischen Untersuchungen über das Verhalten des Asparagins in den Keimpflanzen können wir nunmehr die mit Hülfe mikrochemischer Methoden von Pfeffer ausgeführten Arbeiten betrachten [3]). Es liegt in

1) Wenn die Lupinenkeimpflanzen nach Beyers Untersuchungen einen viel grösseren Gehalt an in Wasser löslichen Proteinstoffen enthalten, als nach den Untersuchungen von E. Schulze und Umlauft, so erklärt sich dies einfach aus dem Umstande, dass Beyer den Stickstoff, der nach den beiden anderen Forschern in den Keimpflanzen in Form von Amidosäuren vorhanden ist, auf Eiweisskörper berechnete.

2) Man vgl. die Bemerkungen von Theile (Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft, B. 4, S. 279) über Umwandlung eines Proteinstoffs in einen anderen.

3) Vgl. Pfeffer, Pringsheims Jahrbücher. B. 8. S. 530. Pfeffer hat die bereits oben erwähnten mikrochemischen Methoden bei seinen Untersuchungen in Anwendung gebracht.

dem Wesen der mikrochemischen Methode selbst begründet, dass bei der Handhabung derselben verschiedene Fragen, welche durch chemische Analyse nicht gelöst werden können, in den Vordergrund treten müssen, und vor allen Dingen ist es ja möglich, auf mikrochemischem Wege die Vertheilung sowie die Translocation der Stoffe in der Pflanze ins Auge zu fassen. Andererseits können gewisse Fragen nur auf analytischem Wege ihrer Lösung entgegengeführt werden.

Zunächst stellte Pfeffer Beobachtungen über das Auftreten des Asparagins bei der Keimung von Lupinus luteus an. Es zeigte sich, dass vor dem Hervorbrechen des Würzelchens, wenn die Bildung von Amylum bereits begonnen hatte, in keinem Theile des Embryo das Vorhandensein von Asparagin constatirt werden konnte. Das Säureamid lässt sich erst nachweisen, wenn die Wurzel etwa 12, das hypocotyle Glied etwa 2 Mm. Länge erreicht haben. In diesen Organen sowie in dem unteren Theile der Stiele der Cotyledonen ist jetzt Asparagin in mässigen Quantitäten vorhanden. Wenn die Keimpflanzen eine Entwickelung erreicht haben, wie Beyer eine solche für die Producte des ersten Keimungsstadiums beschreibt[1]), so ist nach Pfeffer in den Rindenzellen des hypocotylen Gliedes, nicht aber im Mark, Asparagin nachzuweisen. Nur der obere Theil der Wurzel führt jetzt Asparagin; den unmittelbar über dem Vegetationspunkt der Wurzel liegenden Zellen sowie denjenigen der Wurzelhaube fehlt das Asparagin. Die Cotyledonen enthalten Asparagin lediglich im unteren Theile ihrer Stiele. Bei weiterer Entwickelung der Pflanzen nimmt der Asparagingehalt der Samenlappen zu; im oberen Theile derselben fehlt das Säureamid aber noch immer. In den Cotyledonen ist die absolute Asparaginmenge fast so gross wie im hypocotylen Glied; indessen gegenüber der Trockensubstanz sehr viel geringer.

Wenn das epicotyle Stämmchen der bei Lichtzutritt cultivirten Lupinenpflanzen sich zu strecken, und die beiden ersten Laubblätter sich zu entwickeln beginnen, aber noch zusammengefaltet sind, ist Asparagin in fast allen Theilen der Cotyledonen (nur nicht in den Gefässbündeln derselben und vielleicht nicht in den Schliesszellen der Spaltöffnungen) vorhanden. Mit fortschreitender Entwickelung des Stämmchens und der Laubblätter wird der Asparagingehalt auch dieser Organe ein grösserer. Schliesslich verschwindet das Asparagin aber aus allen Theilen der Pflanze, und

1) Man vgl. die früheren Angaben.

es ist selbst bei sorgfältigster Prüfung nicht mehr in den Untersuchungsobjecten nachzuweisen [1]).

Es ist interessant, dass die mikrochemischen Befunde Pfeffers in verschiedenen wesentlichen Punkten mit den von Beyer auf ganz anderem Wege gewonnenen Resultaten übereinstimmen. Namentlich verdient Beachtung, dass nach den Angaben beider Forscher das Asparagin erst nach relativ langer Zeit in den Cotyledonen in beträchtlichen Quantitäten auftritt. Ebenso ist der procentische Asparagingehalt der Cotyledonen nach beiden Beobachtern stets weit geringer als derjenige des hypocotylen Gliedes und der Wurzel.

Ganz ähnlich wie bei der Keimung von Lupinus luteus verhält sich das Asparagin nach Pfeffer bei der Evolution des Embryo von Lupinus varius, Medicago tuberculata und Tetragonellus purpureus. Mit allen diesen Angaben in völliger Uebereinstimmung stehen auch die Ergebnisse der Beobachtungen von H. de Vries [2]) über das Verhalten des Asparagins bei der Keimung von Trifolium pratense. Auch in diesem Falle beginnt die Asparaginanhäufung nicht sofort, wenn die Keimung eingeleitet ist; das Säureamid tritt vielmehr erst in der Keimpflanze in grösserer Menge auf, wenn dieselbe ein gewisses Entwickelungsstadium erreicht hat, und zwar wieder in erster Linie in der Wurzel und dem hypocotylen Gliede, während dagegen erst später geringe Asparaginmengen in den Cotyledonen aufzufinden sind.

Von solchen Papilionaceen, deren Cotyledonen fast ausschliesslich als Reservestoffbehälter fungiren, also gar nicht, oder nur in sehr geringem Grade ergrünen, hat Pfeffer speciell Vicia sativa sowie Pisum sativum bezüglich des Verhaltens des Asparagins untersucht. Bei der Keimung dieser Samen wird das Säureamid nicht in derartig grossen Quantitäten wie z. B. bei der Keimung von Lupinus angehäuft, aber im Allgemeinen zeigt die in Rede stehende Substanz doch auch hier ein ganz ähnliches Verhalten wie in den von uns bereits erwähnten Fällen.

Die Asparaginmengen, welche bei der Keimung der Papilionaceensamen angehäuft werden, sind stets relativ sehr bedeutende, wenngleich nicht zu übersehen ist, dass die Keimpflanzen der ein-

1) Interessant ist, dass, wie Pfeffer eingehender nachweist, die Bewegung des Asparagins in den Keimpflanzen mit derjenigen der Glycose stets Hand in Hand geht. Auf diese wichtige Thatsache kommen wir bei Gelegenheit unserer Erörterungen über die Translocation plastischer Stoffe in der Keimpflanze zurück.

2) Vgl. H. de Vries: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 6. S. 508.

zelnen Repräsentanten der genannten Familie doch auch schon sehr verschiedene Asparaginmengen enthalten. Ebenso sind in Mimosenkeimpflanzen (Mimosa pudica und Acacia lophanta) bedeutende Asparaginmengen vorhanden [1]). In den Keimlingen anderer Pflanzen hat man zwar zu bestimmten Zeiten Asparagin angetroffen, aber keineswegs in den Quantitäten wie in den Keimpflanzen der Papilionaceen und Mimosen.

Bei Tropaeolum majus tritt Asparagin nur zu Beginn der Keimung und zwar in nicht unerheblichen Mengen auf [2]). Später ist das Säureamid nicht mehr in den jungen Pflanzen nachzuweisen, gleichviel, ob dieselben bei Zutritt oder Abschluss des Lichtes cultivirt werden [3]). In manchen anderen Keimpflanzen lassen sich, wie bereits angeführt worden ist, immer nur sehr geringe Asparaginmengen nachweisen, und in einigen scheint sich das Säureamid überhaupt gar nicht anzuhäufen.

In manchen Keimpflanzen lassen sich neben dem Asparagin noch anderweitige Zersetzungsproducte der Eiweisskörper nachweisen. Diese Körper tragen den Character von Säureamiden oder Amidosäuren; sie sind also als dem Asparagin nahe stehende Verbindungen anzusehen und haben unzweifelhaft wie diese Substanz die Aufgabe, die Translocation stickstoffhaltiger Verbindungen im vegetabilischen Organismus zu vermitteln.

Zunächst weisen wir darauf hin, dass man in verschiedenen Keimpflanzen Glutamin, das Amid der Amidopyroweinsäure (Glutaminsäure), aufgefunden hat. Sabanin und Laskovsky [4]) beobachteten in Kürbiskeimlingen das Vorhandensein einer Substanz, die nach der Behandlung der Samenextracte mit Salzsäure Stickstoff ausgab, aber nicht als Asparagin angesprochen werden durfte. Es gelang nämlich nicht, Asparagin aus den Keimpflanzen als solches abzuscheiden. Die in Rede stehende Substanz, welche von den genannten Forschern in recht erheblichen Quantitäten angetroffen worden ist, trägt entschieden den Charakter eines Säureamids und verhielt sich auch in der That, wie Sabanin und Laskovsky

1) Vgl. Pfeffer: Botan. Zeitung. 1874. S. 256.

2) Vgl. Pfeffer: Ebendaselbst.

3) Andere im Dunkeln erwachsene Keimlinge enthalten noch zur Zeit, wo sie zu Grunde gehen, viel Asparagin. Dies ist z. B. nach Pfeffer bei den Keimpflanzen von Lupinus und nach H. de Vries bei denjenigen von Trifolium pratense der Fall.

4) Vgl. Sabanin und Laskovsky, Versuchsstationen. B. 18. S. 504.

speciell angeben, dem Asparagin ganz analog. Namentlich ist in dieser Beziehung zu erwähnen, dass der fragliche Körper in den bei Lichtzutritt cultivirten Kürbiskeimpflanzen in weit geringerer Menge als in den im Finstern erwachsenen Untersuchungsobjecten vorhanden war.

E. Schulze und Barbieri[1]), welche die stickstoffhaltigen Verbindungen der Kürbiskeimpflanzen genauer untersuchten, fanden einerseits geringe Asparaginmengen in denselben, andererseits haben sie aber auch constatiren können, dass die von Sabanin und Laskovsky zuerst aufgefundene, aber nicht näher charakterisirte stickstoffhaltige Verbindung als Glutamin anzusehen ist[2]). Glutamin kommt nach Gorup-Besanez[3]) ebenso in Wickenkeimlingen und nach E. Schulze[4]) wahrscheinlich auch in Lupinenkeimlingen vor.

Tyrosin kommt nach Gorup-Besanez in geringen Mengen in Wickenkeimlingen vor[5]). E. Schulze und Barbieri fanden etwas grössere Tyrosinquantitäten in Kürbiskeimlingen[6]).

Leucin (Amidocapronsäure) ist von Gorup-Besanez und H. Will[7]) und später ebenso von Cossa[8]) in Wickenkeimlingen aufgefunden worden. Die Wickensamen enthalten kein Leucin; in den im diffusen Lichte erzogenen 14 Tage bis 4 Wochen alten Wickenkeimpflanzen hat man die Amidosäure neben Asparagin aber in beträchtlichen Mengen angetroffen. Zur Gewinnung des Leucins aus Wickenkeimlingen werden diese unter Zusatz von etwas Wasser tüchtig ausgepresst. Der gewonnene Saft wird zur Abscheidung der Eiweisskörper erhitzt, und darauf vermischt man das Filtrat vom Eiweisscoagulum sofort mit einem grossen Ueberschuss 90-

1) Vgl. E. Schulze und Barbieri: Landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 6, S. 681 und Berichte d. deutschen chem. Gesellschaft, B. 10, S. 199.

2) In ihrer ersten Abhandlung (landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 6) geben E. Schulze und Barbieri an, dass die mit der Glutaminsäure nahe verwandte Verbindung in den Kürbiskeimlingen als Glutamin oder als eine andere Amidverbindung der Glutaminsäure anzusehen sei; später (landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 7, S. 431) redet E. Schulze nur von Glutamin.

3) Vgl. Gorup-Besanez, Berichte d. deutsch. chem. Gesellschaft. B. 10. S. 780.

4) Vgl. E. Schulze: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7. S. 431.

5) Vgl. Gorup-Besanez, Berichte d. deutsch. chem. Gesellschaft. B. 10. S. 781.

6) Vgl. E. Schulze und Barbieri: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7. S. 431.

7) Vgl. Gorup-Besanez und H. Will: Berichte d. deutschen chem. Gesellschaft. B. 7. S. 146 u. 569.

8) Vgl. Cossa: Ebendaselbst. B. 8. S. 1357.

procentigen Alkohols. Durch den Alkohol wird die grösste Menge des vorhandenen Asparagins ausgefällt. Concentrirt man die alkoholische Flüssigkeit nach dem Filtriren, so scheidet sich zunächst noch etwas Asparagin, später aber Leucin ab.

Endlich sei noch erwähnt, dass in manchen Keimpflanzen ein stickstoffhaltiger Körper vorkommt, der in Berührung mit bromirter Lauge direct Stickstoff ausgiebt[1]). Die Natur dieser Verbindung ist noch nicht bekannt; so viel steht aber fest, dass sie nicht mit dem Asparagin identificirt werden darf, denn dieses letztere wird von bromirter Lauge ohne vorherige Behandlung mit Salzsäure nicht zersetzt. Ebenso hat man nachgewiesen, dass die in Rede stehende Substanz kein Ammoniak repräsentirt, denn Erbsenkeimlinge, in denen der fragliche Körper z. B. vorkommt, enthalten nach meinen Beobachtungen niemals Ammoniak. Das unbekannte Eiweisszersetzungsproduct der Keimpflanzen ist auf alle Fälle als eine organische Verbindung anzusehen, und weitere Untersuchungen haben uns erst über die Natur derselben aufzuklären.

Wir machen hier bereits auf die an anderer Stelle noch eingehender zu betrachtende Thatsache aufmerksam, dass nämlich die einzelnen erwähnten stickstoffhaltigen Eiweisszersetzungsproducte in verschiedenen Keimpflanzen in durchaus nicht denselben Mengenverhältnissen auftreten. So z. B. enthalten die Wickenkeimlinge neben beträchtlichen Asparagin- und Leucinquantitäten nur sehr wenig Tyrosin sowie Glutamin. Kürbiskeimlinge hingegen sind sehr arm an Asparagin und Tyrosin, während sie nicht unerhebliche Glutaminquantitäten enthalten. Ferner ist der Glutamingehalt der Lupinenkeimlinge auf jeden Fall ein sehr geringer, während dieselben bekanntlich überreich an Asparagin sind.

Die einfache Thatsache, dass neben verschiedenen Säureamiden Amidosäuren als Eiweisszersetzungsproducte bei der Keimung auftreten, lässt es erwünscht erscheinen, eine Methode zur quantitativen Bestimmung derselben zu besitzen, und es ist wiederum das Verdienst R. Sachsses den ersten Schritt zur Begründung einer solchen gethan zu haben[2]). Sachsses Verfahren stützt sich auf die Thatsache, dass Amidosubstanzen in Berührung mit salpetriger Säure eine Zersetzung erleiden. Amidosubstanzen, welche

---

1) Eine derartige Substanz kommt, wie wir bereits an anderer Stelle erwähnten, ebenso in ruhenden Samen vor.

2) Vgl. Sachsse und Kormann, Versuchsstationen, B. 17, S. 312 und Sachsses Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlehydrate und Proteinsubstanzen, Leipzig, 1877, S. 258.

nur 1 Atom Stickstoff im Molekül enthalten, geben ihren gesammten Stickstoff in Berührung mit salpetriger Säure als solchen ab, wie dies z. B. aus der folgenden Formelgleichung ersichtlich ist:

$$\underbrace{2(C_6H_{13}NO_2)}_{\text{Leucin.}} + N_2O_3 = \underbrace{2(C_6H_{12}O_3)}_{\text{Leucinsäure.}} + H_2O + 4N.$$ [1]

Amidosubstanzen, die, wie z. B. das Asparagin, 2 Atome Stickstoff im Molekül enthalten, geben in Berührung mit salpetriger Säure einen Theil ihres Stickstoffs als solchen, einen anderen aber als Ammoniak aus:

$$\underbrace{2(C_4H_8N_2O_3)}_{\text{Asparagin.}} + H_2O + N_2O_3 = \underbrace{2(C_4H_6O_5)}_{\text{Aepfelsäure.}} + 2H_3N + 4N.$$

Zur richtigen Deutung der mit Hülfe der hier nicht ausführlicher zu behandelnden Methode Sachsses gewonnenen analytischen Ergebnisse ist die Bekanntschaft mit der Natur der Amidosubstanzen, welche einen Theil des Stickstoffs liefern, selbstverständlich erforderlich. Bei physiologischen Untersuchungen ist diese Voraussetzung in vielen Fällen nicht erfüllt, und daraus erwachsen natürlich erhebliche Schwierigkeiten.

Enthalten Keimpflanzen neben Amidosäuren noch Säureamide, z. B. Asparagin, so ist es zweckmässig, diese letzteren zunächst in den Extracten nach der früher erwähnten Methode mit bromirter Lauge zu bestimmen [2]). Ein bestimmtes Quantum der Keimpflanzenextracte kann dann ferner zur Zerlegung der vorhandenen Säureamide in Amidosäuren und Ammoniak mit Säure gekocht werden, und wenn man die Flüssigkeit nunmehr zur Bestimmung des Stickstoffs der Gesammtmenge der vorhandenen Amidosäuren mit salpetriger Säure behandelt, und wenn nun von der für Amidosäuren im Ganzen gefundenen Stickstoffmenge derjenige Antheil subtrahirt wird, welcher der aus dem Asparagin abgespaltenen Asparaginsäure zugehört [3]), so bleibt die in Form anderer Amidosäuren vorhandene Stickstoffmenge als Rest. Wie aus den vorstehenden Angaben hervorgeht, ist es heute allerdings noch nicht möglich, den Gehalt der Keimpflanzen an verschiedenen Säureamiden und Amidosäuren genau festzustellen; aber dennoch sind wir im

---

1) Asparaginsäure und Tyrosin verhalten sich ebenso wie Leucin.

2) Vgl. E. Schulze, Versuchsstationen, B. 20, S. 117 und landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 7, S. 417.

3) Die Asparaginsäurequantität lässt sich aus dem Gehalt der Keimpflanzen an Asparagin berechnen.

Stande, einerseits die Stickstoffquantität, die in Form von Säureamiden, andererseits diejenige, welche in Form von Amidosäuren vorhanden ist, sicher zu ermitteln, und dies ist natürlich von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

E. Schulze[1]) hat neuerdings mit Hülfe der hier kurz berührten Untersuchungsmethoden die Producte des Zerfalls der Eiweisskörper bei der Keimung der gelben Lupine eingehender verfolgt, und er ist dabei zu den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Ergebnissen gelangt[2]).

Dauer der Keimung	Eiweissverlust	Stickstoff in den Eiweisszersetzungsproducten			Vom Stickstoff des Eiweissverlustes findet sich wieder in den Eiweisszersetzungsproducten.
		a. im Asparagin	b. in Amidosäuren	c. im Ammoniak	
10 Tage	36.13 Th. mit 5.78 Th. N.	3.23 Th.	1.17 Th.	0.32 Th.	81.7 %
12 „	38.00 „ „ 6.08 „ „	3.86 „	0.96 „	0.26 „	83.5 „

Das Ammoniak ist nicht, wie E. Schulze speciell dargethan hat, als normales Eiweisszersetzungsproduct anzusehen, vielmehr hat sich dasselbe erst beim Trocknen der Keimpflanzen oder bei der Darstellung der Extracte gebildet. Bei der Keimung der Lupine liefern die zerfallenden Proteinstoffe also vorwiegend Asparagin und Amidosäuren als stickstoffhaltige Zersetzungsproducte. Daneben müssen aber noch anderweitige Verbindungen entstehen, über deren Natur wir vor der Hand nicht unterrichtet sind.

Fünftes Capitel.

Die Regeneration von Proteinstoffen bei der Keimung.

Ein ganz besonderes Interesse beansprucht die Thatsache, dass sich die stickstoffhaltigen Dissociationsproducte der Eiweisskörper nicht unter allen Umständen in der Pflanze gleichartig verhalten. Die Verhältnisse, welche in diesem Capitel behandelt werden sollen, sind vor allen Dingen mit Rücksicht auf das Asparagin studirt worden, und es hat sich dabei ergeben, dass Dunkelheit im Allgemeinen eine Anhäufung des Säureamids in den Pflanzenzellen her-

1) Vgl. E. Schulze: Landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 7. S. 420.

2) Die Zahlen der folgenden Tabelle beziehen sich auf Keimpflanzenquantitäten, die 100 Th. ursprünglicher Samen (wasserfrei) entsprechen.

beiführt. Pfeffer, sowie H. de Vries geben z. B. in ihren bereits citirten Abhandlungen an, dass im Finstern erwachsene und schliesslich aus Mangel an Nahrung zu Grunde gehende Lupinen- und Kleekeimpflanzen reichliche Asparaginquantitäten enthalten. Wenn die Entwickelung der Lupinenpflanzen aber nicht bei Abschluss, sondern bei Zutritt des Lichtes erfolgt, so ist zwar in den Untersuchungsobjecten während der ersten Zeit ihrer Evolution Asparagin nachzuweisen, aber dasselbe kann später, wenn die Pflanzen das neunte Laubblatt entwickelt haben, nicht mehr in ihnen nachgewiesen werden [1] [2]. Ebenso verdient hier die Angabe Borodin's [3] Erwähnung, dass z. B. unter normalen Verhältnissen im Freien erwachsene Pflanzen von Vicia sepium weder in den Stengeln und Blättern, noch in den unreifen Schoten Asparagin führen, dass dieser Körper aber alsbald in den Zellen auftritt, wenn die Untersuchungsobjecte einige Tage lang im Dunkeln in einem feuchten Raum belassen werden. Analog verhalten sich viele andere Pflanzen; in verschiedenen Gewächsen tritt aber nach Borodin zu bestimmten Zeiten selbst unter normalen Verhältnissen ziemlich viel Asparagin auf, und dann führt Lichtabschluss nur eine bedeutendere Anhäufung des Säureamids in den Zellen herbei. Fassen wir die hier zuletzt berührten Verhältnisse noch nicht specieller ins Auge, sondern halten zunächst daran fest, dass Lichtzutritt einer Asparaginanhäufung in den Pflanzenzellen im Ganzen und Grossen entgegenwirkt, so handelt es sich vor allen Dingen um die Entscheidung der wichtigen Frage, in welcher Weise die Lichtstrahlen hier thätig sind.

Es wäre von vornherein denkbar, dass das Licht als solches die Asparaginanhäufung in den Pflanzenzellen verhindere. Aber eine derartige Anschauung steht nicht mit den bekannten Thatsachen in Einklang, und namentlich ist es das Verdienst Pfeffer's, die Unhaltbarkeit derselben klar dargethan zu haben [4].

Der genannte Forscher cultivirte nämlich Lupinenkeimlinge bei Lichtzutritt, aber die Untersuchungsobjecte entwickelten sich

---

1) Ganz ähnlich verhalten sich nach H. de Vries die in ihrer Entwickelung fortgeschrittenen Rothkleepflanzen.

2) Es sei hier noch bemerkt, dass ebenso bei Lichtzutritt erwachsene und in ihrer Entwickelung fortgeschrittene Wickenpflanzen weder nach Piria (Annl. de Chm. et de Phys., ser. III, T. 22, p. 163) noch nach Pasteur (Annl. de Chm. et de Phys., ser. III, T. 31. p. 70) Asparagin enthalten.

3) Vergl. Borodin: Botan. Zeitung. 1878. S. 820.

4) Vgl. Pfeffer: Botan. Zeitung. S. 251.

nicht unter normalen Verhältnissen, sondern in einer kohlensäurefreien Atmosphäre. Die Evolution der Pflanzen erfolgte zunächst ganz normal; dann hörte das Wachsthum derselben auf, aber sie lebten noch längere Zeit fort. Die mikroskopische Untersuchung der ergrünten Keimlinge ergab, dass dieselben reichliche Asparaginquantitäten enthielten. Daraus folgt zweifellos, dass das Licht als solches die Asparaginanhäufung in Pflanzenzellen nicht zu verhindern vermag, und dass der Einfluss des Lichtes auf das Verhalten der stickstoffreichen Verbindungen in den Gewächsen nur als ein indirecter bezeichnet werden muss.

Die Ergebnisse der Untersuchungen Pfeffer's, ebenso auch diejenigen der Arbeiten anderer Forscher, zumal Borodin's, weisen mit aller Bestimmtheit darauf hin, dass eine Asparaginanhäufung in den Pflanzenzellen nur dann zu Stande kommt, wenn es an geeignetem stickstofffreien Material zu Regeneration von Proteinstoffen mangelt, und unter Berücksichtigung dieses Umstandes gewinnen wir mit einem Schlage eine Vorstellung über die Bedeutung des Lichtes für das Verhalten des Asparagins in den Gewächsen. Das Licht ist eine wesentliche Bedingung für das Zustandekommen des Assimilationsprocesses. Dieser letztere führt aber zur Bildung stickstofffreier Verbindungen, also desjenigen Materials, welches für die Proteinstoffregeneration unentbehrlich ist. In einer fast kohlensäurefreien Atmosphäre ist die Assimilation selbst bei Lichtzutritt eine nur äusserst geringfügige [1]), und in völliger Finsterniss kann sie sich gar nicht geltend machen. Das Asparagin wird unter diesen Umständen gar nicht oder doch nur in beschränktem Masse zur Proteinstoffregeneration verwendet und muss sich in Folge dessen in den Pflanzenzellen anhäufen.

Zur weiteren Illustration des Gesagten weise ich hier zunächst auf die Ergebnisse hin, welche ich bei dem Studium des Verhaltens des Asparagins in keimenden Maispflanzen erhielt [2]). Maissamen und ebenso 8 Tage alte bei Lichtabschluss erwachsene Maiskeimlinge enthalten kein Asparagin. Später aber tritt das Säureamid in den Untersuchungsobjecten auf, und in der folgenden Tabelle sind die bezüglichen Werthe, bezogen auf 100 Grm. der ruhenden Samen entsprechenden Keimpflanzenquantitäten, mitgetheilt. Unter

---

1) Eine schwache Assimilation kann auf Kosten der in Folge des Athmungsprocesses gebildeten und in den Zellen selbst noch vorhandenen Kohlensäure erfolgen.

2) Vgl. Detmer: Physiologisch-chem. Untersuchungen über die Keimung etc. 1875, S. 79.

I ist der Asparagingehalt 4 Wochen alter bei Zutritt des Lichtes, unter II der Asparagingehalt 4 Wochen alter bei Lichtabschluss cultivirter Maispflanzen angegeben. Unter III ist der Asparagingehalt 5 Wochen alter bei Lichtzutritt und unter IV der Asparagingehalt 5 Wochen alter im Finstern erwachsener Maispflanzen verzeichnet.

I.	II.	III.	IV.
0.760 Grm.	0.758 Grm.	0.463 Grm.	1.821 Grm.

Ich gehe hier noch nicht auf das Verhalten des Asparagins während der ersten Keimungsstadien des Mais ein; an dieser Stelle sei nur so viel bemerkt, dass der Asparagingehalt der sich im Dunkeln entwickelnden Keimpflanzen fortdauernd zunahm, dass hingegen der Lichtzutritt seine indirecte Wirkung auf die Proteinstoffregeneration während des letzten Evolutionsstadiums der Untersuchungsobjecte in deutlichster Weise geltend machte. Hätten sich die Maispflanzen der Lichtreihe von der vierten Woche ab in einer kohlensäurefreien Atmosphäre entwickelt, so würde ihr Asparagingehalt zweifellos wie derjenige der Pflanzen der Dunkelreihe am Ende der fünften Woche auf etwa 1.8 Grm. gestiegen sein; wenn derartiges thatsächlich nicht geschah, so rührt dies nur von dem Umstande her, dass meine bei Lichtzutritt erwachsenen Pflanzen assimiliren konnten, und dass die fortdauernd gebildeten Asparaginquantitäten in Folge dessen stets zur Proteinstoffregeneration Verwendung fanden.

Den Anschauungen, welche wir uns über das Verhalten des Asparagins in den Pflanzenzellen gebildet haben, stehen nun aber noch einige Bedenken entgegen. Dieselben müssen beseitigt werden, wenn jene Anschauungen als sicher begründet gelten sollen.

Zunächst muss hier auf das eigenthümliche Verhalten des in Rede stehenden Säureamids bei der Keimung von Tropaeolum majus hingewiesen werden. Das Asparagin entsteht bei der Keimung der Samen dieser Pflanze zunächst in ziemlich erheblicher Menge, aber es verschwindet fernerhin wieder vollkommen. Dies geschieht sowohl im Finstern als auch bei Zutritt des Lichtes [1]. Auf den ersten Blick haben wir es hier mit einer sehr merkwürdigen Erscheinung zu thun; aber das Verhalten des Asparagins bei der Keimung von Tropaeolum wird durchaus verständlich, wenn man sich daran erinnert, dass die Regeneration von Proteinstoffen ja nicht an die Gegenwart des Lichtes schlechthin, sondern nur

---

1) Vgl. Pfeffer: Botan. Zeitung. 1874. S. 255.

an das Vorhandensein solcher Stoffe gebunden ist, welche die Fähigkeit besitzen, sich mit dem Asparagin zu Eiweiss zu associiren. Wenn solche Körper aus vorhandenen Reservestoffen im Dunkeln in genügender Menge entstehen, so stehen dem Zustandekommen des Regenerationsprocesses gar keine Schwierigkeiten entgegen, und derartiges muss eben bei der Keimung der Samen von Tropaeolum majus der Fall sein.

Ferner scheint die Thatsache, dass nämlich in bereits weit entwickelten und dem Einflusse des Lichtes ausgesetzten Pflanzen Asparagin auftreten kann, den über das Verhalten des Säureamids geltend gemachten Anschauungen zu widersprechen. Aber auch die hier auftauchenden Bedenken lassen sich leicht beseitigen, denn offenbar kann die Asparaginproduction unter Umständen so bedeutend ausfallen, dass die in Folge der Assimilation gebildeten stickstofffreien Stoffe nicht hinreichen, um die Gesammtmenge des Asparagins in Proteinkörper überzuführen.

Ganz besondere Beachtung verdient nun aber noch in dem hier in Rede stehenden Zusammenhange die bereits an einem anderen Orte constatirte Thatsache, dass Keimpflanzen häufig, mögen sie im Finstern oder bei Lichtzutritt erwachsen sein, gleich grosse Asparaginquantitäten enthalten. So fand Sachsse, wie wir gesehen haben, in 6, 10, 15 und 24 Tage alten Erbsenkeimlingen, mochten sich dieselben im Dunkeln oder unter dem Einfluss des Lichtes entwickelt haben, dieselben Asparaginmengen. Gleiches hat Cossa[1]) für Wickenkeimlinge constatiren können, und meine Untersuchungen über den Asparagingehalt 4 Wochen alter bei Zutritt oder Abschluss des Lichtes erwachsener Maispflanzen haben zu dem nämlichen Resultate geführt. Um zu einem Verständniss der erwähnten merkwürdigen Verhältnisse zu gelangen, ist es erforderlich, etwas weiter auszuholen, und ich meine, dass zumal diejenigen Resultate, welche E. Schulze neuerdings bei seinen Untersuchungen über das Verhalten stickstoffhaltiger Verbindungen während der Keimung der Lupine gewonnen hat, für die Beurtheilung der in Rede stehenden Erscheinungen von erheblichem Werthe sein dürften[2]).

Der genannte Forscher cultivirte nämlich Lupinenkeimlinge einerseits 10 Tage lang bei Abschluss des Lichtes; andererseits

---

1) Vgl. Cossa, Versuchsstationen. B. 15, S. 182.

2) Vgl. E. Schulze: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 7, S. 429 und Botan. Zeitung. 1879. Nr. 14.

liess er aber Lupinenpflanzen, die sich zunächst 10 Tage lang im Dunkeln entwickelt hatten, noch einige Wochen in einer Nährstofflösung, die frei von Stickstoffverbindungen war, vegetiren. Der Gesammtstickstoffgehalt der Untersuchungsobjecte war in beiden Fällen nach Abschluss der Vegetation derselbe, aber der Gehalt der Pflanzen an Asparagin etc. war, wie die folgenden Angaben zeigen, ein verschiedenartiger:

	Vom Gesammtstickstoff fallen: in den etiolirten 10 tägigen Keimlingen:	in den grünen Pflanzen:	Differenz.
auf Eiweissstoffe	25.2 %	33.2 %	+ 8.0 %
„ Asparagin	34.2 „	42.0 „	+ 7.8 „
„ stickstoffhaltige Stoffe anderer Art (zumal Amidosäuren)	40.6 „	24.8 „	— 15.8 „

Die vorstehend mitgetheilten Resultate scheinen auf den ersten Blick in keiner Weise mit den Vorstellungen in Einklang zu stehen, welche wir uns über das Verhalten des Asparagins in der Pflanzenzelle gebildet haben. Der Zutritt des Lichtes hat nicht, wie man von vornherein meinen sollte, eine Verminderung, sondern im Gegentheil eine Vermehrung des Asparagingehalts der Untersuchungsobjecte herbeigeführt.

Es ist hier nun aber mit allem Nachdruck auf den bereits mehrfach betonten Umstand hinzuweisen, dass das Asparagin nicht das einzige Dissociationsproduct der Proteinstoffe repräsentirt, sondern dass die Eiweisskörper neben dem genannten Säureamid bei ihrer Zersetzung noch eine ganze Reihe anderweitiger Stickstoffverbindungen liefern.

Bei der Keimung der Lupine entstehen neben dem Asparagin bekanntlich namentlich verschiedene Amidosäuren. Die vorstehenden Zahlen lassen nun die interessante Thatsache deutlich erkennen, dass diese Körper unter dem Einflusse des Lichtes zur Proteinstoffregeneration verwandt worden sein müssen, denn einerseits enthalten die grünen Pflanzen weniger Amidosäuren als die im Dunkeln erwachsenen, und ferner erkennt man, dass der Eiweissgehalt der ersteren grösser als derjenige der letzteren ist [1]). Was

1) Es ist übrigens zu bemerken, dass die Eiweissbildung in den grünen Pflanzen factisch lebhafter gewesen sein muss, als sich aus den für die Eiweissbildung ermittelten Werthen erkennen lässt. Denn es ist zu bedenken, dass die

das Asparagin anbelangt, so hat sich dasselbe in den Lupinenpflanzen unter dem Einflusse des Lichts entschieden mehr und mehr angehäuft, aber damit ist offenbar nur gesagt, dass das Säureamid in den Lupinenpflanzen während des bestimmten Entwickelungsstadiums derselben, mit dem wir es hier zu thun haben, keine Verarbeitung zu Proteinstoffen fand. Dass die Regeneration von Eiweisskörpern aus Asparagin überhaupt möglich ist, unterliegt nach früheren Auseinandersetzungen gar keinem Zweifel, und auch in den Lupinenpflanzen lässt sich das Asparagin schliesslich nicht mehr nachweisen.

Bei der Keimung der Lupine im Dunkeln häufen sich sämmtliche Eiweisszersetzungsproducte (Säureamide, sowie Amidosäuren) mehr und mehr in den Untersuchungsobjecten an. Entwickeln sich die Lupinenkeimlinge aber unter dem Einflusse des Lichtes, so macht sich auf alle Fälle nicht nur eine lebhafte Eiweisszersetzung, sondern ebenso eine energischere Eiweissregeneration als im Finstern geltend [1]). Und zwar werden während der ersten Vegetationsstadien der Lupinenpflanzen vor allen Dingen Amidosäuren als stickstoffhaltiges Material zur Neubildung von Proteinstoffen verwerthet, während das Asparagin nicht oder nur in sehr beschränktem Masse zur Verarbeitung gelangt; später dient dann allerdings auch das Asparagin zur Eiweissregeneration und lässt sich in Folge dessen schliesslich nicht mehr in den Pflanzenzellen nachweisen.

Bedenkt man, dass das Asparagin in manchen Pflanzen (z. B. Tropaeolum) selbst bei Abschluss des Lichtes zur Proteinstoffregeneration Verwendung finden kann, und zieht man ferner in Erwägung, dass die verschiedenartigen Eiweisszersetzungsproducte sich, wie soeben gezeigt worden ist, innerhalb einer Pflanze während der auf einander folgenden Entwickelungsstadien derselben nicht gleichartig verhalten, so gelangt man zu dem Schluss, dass in den Pflanzenzellen Ursachen zur Geltung kommen müssen, welche in dem einen Falle die Regeneration des Eiweiss aus Asparagin, in einem andern die Eiweissneubildung auf Kosten sonstiger stickstoffhaltiger Körper besonders erleichtern. Ueber die Natur dieser Ursachen sind wir vor der Hand noch nicht genau unterrichtet; auf jeden Fall schei-

---

Proteinstoffe ja auch unter dem Einfluss des Lichtes einer Dissociation anheimfallen, und dass diese eben als eine Ursache der Steigerung des Asparagingehalts der grünen Pflanzen angesehen werden muss.

1) Uebrigens ist eine schwache Eiweissregeneration in den sich bei Abschluss des Lichtes entwickelnden Lupinenkeimlingen durchaus nicht ausgeschlossen.

nen hier Affinitätsverhältnisse zwischen den zur Proteinstoffregeneration erforderlichen stickstoffhaltigen und stickstofffreien Verbindungen ins Spiel zu kommen. Es ist übrigens interessant, dass sich die Pflanzenzellen nicht nur den Amidosäuren, sowie den Säureamiden gegenüber verschiedenartig verhalten, sondern dass Aehnliches ebenso mit Rücksicht auf anderweitige Substanzen constatirt werden konnte. So hat man gefunden, dass salpetersaure Salze, welche für die Ernährung der höheren Pflanzen eine so grosse Bedeutung besitzen, den Hefepilz nicht mit Stickstoff zu versorgen vermögen [1]). Nach Lehmann [2]) ist ferner das Ammoniak als ein vortreffliches stickstoffhaltiges Nahrungsmittel für junge Maispflanzen anzusehen, während junge Maispflanzen die Salpetersäure nicht gut verarbeiten können. Aeltere Maispflanzen verhalten sich dem Ammoniak und der Salpetersäure gegenüber geradezu entgegengesetzt wie junge [3]).

Die von E. Schulze bei seinen Untersuchungen über das Verhalten der sticktoffhaltigen Verbindungen bei der Keimung der Lupinen gewonnenen Resultate sind nun für die Beurtheilung verschiedener uns hier speciell interessirender Verhältnisse von Bedeutung. Zunächst ist noch einmal auf die merkwürdige Erscheinung hinzuweisen, dass manche Keimpflanzen (Erbsen, Wicken, Maiskeimlinge in gewissen Entwickelungsstadien), mögen sich dieselben im Finstern oder bei Zutritt des Lichtes ausgebildet haben, gleiche absolute Asparaginmengen enthalten. Es ist eine unzweifelhaft feststehende Thatsache, dass die Proteinstoffe bei ihrer Dissociation in den Pflanzenzellen nicht nur Asparagin als stickstoffhaltiges Zersetzungsproduct, sondern daneben noch anderweitige Stickstoffverbindungen (zumal Amidosäuren) liefern. Die Proteinstoffzersetzung findet sowohl im Dunkeln als auch unter dem Einflusse des Lichtes statt; dagegen erfolgt die Eiweissregeneration aus bekannten Gründen energischer unter dem letzteren als unter dem ersteren Umstande. Denken wir uns nun, wozu wir unter Berücksichtigung der von E. Schulze festgestellten und soeben specieller hervorgehobenen Ergebnisse entschieden berechtigt sind, dass die Eiweissneubildung in den Keimpflanzen von Pisum sativum etc. lediglich auf Kosten vorhandener Amidosäuren erfolgt,

1) Vgl. A. Mayer, Lehrbuch der Gährungschemie. 1874. S. 120.

2) Vgl. Lehmann, Zeitschrift d. landwirthschl. Vereins in Bayern. 1874. S. 451.

3) Bemerkt sei noch, dass Buchweizenpflanzen nach Lehmann schon während ihrer ersten Entwickelungsstadien sehr bedeutend leiden, wenn man ihnen Ammoniaksalze darbietet; sie gehen unter solchen Verhältnissen alsbald zu Grunde.

während das Asparagin zunächst noch intact bleibt, so erklärt sich die Erscheinung, dass die im Dunkeln und die im Licht erwachsenen Keimlinge gleich grosse Asparaginquantitäten enthalten, in einfacher und ungezwungener Weise. Bei weiterer Entwickelung der Pflanzen wird dann ebenfalls das Asparagin für die Proteinstoffneubildung verwerthet.

Auch auf die bereits im vorigen Capitel berührte Thatsache, dass verschiedene Keimpflanzen die einzelnen Eiweisszersetzungsproducte nicht in denselben Mengenverhältnissen enthalten, lassen die Resultate der Untersuchungen E. Schulze's ein helles Licht fallen. Man könnte zunächst von der Anschauung ausgehen, dass die Eiweisszersetzung nicht in allen Keimpflanzen in derselben Weise erfolgt, dass z. B. der Zerfall der Proteinstoffe bei der Keimung der Wicke direct zur Bildung grösserer Asparagin- und Leucinmengen führt, während sich aus dem Eiweiss der Kürbissamen bei der Keimung derselben zumal Glutamin bildet. Diese Auffassung der Verhältnisse würde zwar zur Erklärung der constatirten Erscheinungen genügen; ihr ist aber eine andere, welche gewiss als die sachgemässere angesehen werden muss, entgegenzustellen. Es ist nämlich kaum zweifelhaft, dass der Dissociationsprocess der Proteinstoffe in den Pflanzenzellen stets in annähernd derselben Weise erfolgt, und dass wir bei der Untersuchung von Keimpflanzen die Eiweisszersetzungsproducte in denselben nicht mehr in denjenigen Mengeverhältnissen antreffen, in welchen sie ursprünglich aus den Proteinstoffen gebildet worden sind.

Wenn, wie wir gesehen haben, in den Lupinenkeimlingen bei Zutritt des Lichtes vorwiegend oder ausschliesslich die Amidosäuren zur Eiweissregeneration Verwendung finden, während das Asparagin intact bleibt, so ist es ebenso möglich, dass bei der Proteinstoffneubildung in solchen Keimlingen, welche sich im Finstern entwickeln, nicht die sämmtlichen Eiweisszersetzungsproducte in demselben Verhältnisse, wie sie ursprünglich gebildet worden sind, Verwendung finden, sondern dass in einem Falle dieses, in einem anderen jenes Dissociationsproduct der Eiweisskörper vor allen Dingen verwerthet wird. Nach dieser Vorstellungsweise, die gewiss im Ganzen und Grossen als eine richtige zu bezeichnen ist, müssen also z. B. in den Wickenkeimlingen zumal Tyrosin, sowie Glutamin zu Eiweiss verarbeitet werden, während die Kürbiskeimpflanzen vor allen Dingen das Asparagin verwerthen. Die Eiweisszersetzungsproducte, welche sich nicht oder nur in beschränktem

Masse an dem Regenerationsprocesse betheiligen, werden sich in den Keimpflanzen anhäufen. Der Zukunft aber bleibt es vorbehalten, die Ursachen des hier berührten verschiedenartigen Verhaltens der einzelnen Eiweisszersetzungsproducte bei der Proteinstoffregeneration zu ermitteln.

Was das Verhalten solcher Keimpflanzen anbelangt, in denen es bis zu einer bestimmten Zeit zu keiner Ansammlung des Säureamids kommt (Maiskeimlinge), so darf nicht angenommen werden, wie bereits früher bemerkt worden ist, dass in den in Rede stehenden Fällen überhaupt gar keine Bildung von Säureamiden und Amidosäuren stattfindet. Vielmehr zerfallen die Proteinstoffe nach unserer Vorstellung in jeder lebenden Pflanzenzelle fortdauernd in stickstofffreie und stickstoffhaltige Körper von verschiedener Natur, und wenn während gewisser Keimungsstadien gar keine Asparaginanhäufung oder überhaupt keine Anhäufung eines stickstoffhaltigen Dissociationsproductes zu constatiren ist, so zeigt dies nur, dass die Proteinstoffregeneration sehr energisch erfolgte. Uebrigens hängt die Energie, mit welcher sich dieser Process geltend macht, nicht allein von der Menge der überhaupt zur Disposition stehenden stickstofffreien Verbindungen ab. Es muss vielmehr mit Nachdruck betont werden, dass die Eiweissbildung nur bei Gegenwart des geeigneten stickstofffreien Materials erfolgen kann. In den Kartoffelknollen, sowie in den Rübenwurzeln häufen sich bedeutende Quantitäten von Säureamiden und Amidosäuren an, trotzdem die Zellen der genannten Pflanzenorgane reich an Stärke respct. Rohrzucker sind, und ebenso ist es eine bekannte Thatsache, dass viele Keimpflanzen bereits dann Asparagin etc. in reichlichen Mengen führen, wenn sie noch sehr beträchtliche Mengen stickstofffreier Verbindungen überhaupt enthalten. Als stickstofffreies Material, welches für die Proteinstoffregeneration verwendet werden kann, ist aber, wie bereits bemerkt wurde, die Glycose anzusehen, und in Folge dessen wird es um so schwieriger zu einer Anhäufung von Säureamiden und Amidosäuren in den Pflanzenzellen kommen, je reicher dieselben an Glycose sind. In der That entsprechen die Befunde, welche man bei dem Studium der Zusammensetzung der Keimpflanzen gemacht hat, unserer Voraussetzung.

Ich habe constatiren können, dass Erbsen nur während des aller ersten Keimungsstadiums (Quellung) erhebliche Glycosemengen führen[1]). Bei weiterer Evolution des Embryo verschwindet die

1) Vgl. Detmer, Journal f. Landwirthschaft. 1879. S. 376.

Glycose völlig, aber es macht sich nun auch eine fortdauernd energischer werdende Asparaginanhäufung in den Keimlingen geltend. Die Glycosebildung wird während dieser ferneren Keimungsstadien zwar nicht aufhören; indessen sie findet auf alle Fälle nur langsam statt, und die producirte Glycosemenge reicht nicht hin, um die sämmtlichen Dissociationsproducte der Proteinstoffe in Eiweisskörper umzuwandeln. Bei der Keimung des Mais erfolgt zunächst, wie ich beobachtete, keine Asparaginanhäufung; später lässt sich das Säureamid aber in den Keimpflanzen nachweisen. Und in dem Masse als das Asparagin sich anhäuft, verschwindet die Glycose aus den Zellen der Untersuchungsobjecte. Die folgenden von mir ermittelten Zahlen über den absoluten Asparagin- und Glycosegehalt der 8 Tage, 4 und 5 Wochen alten Maiskeimlinge, welche bei Lichtabschluss aus je 100 Grm. Früchten (Trockensubstanz) gewonnen wurden, lassen die angedeuteten Relationen zwischen den vorhandenen Mengen des Säureamids und des Kohlehydrats deutlich hervortreten [1]:

Gehalt an	8 Tage	4 Wochen alte Keimlinge.	5 Wochen
Asparagin	—	0.67 Grm.	1.61 Grm.
Glycose	5.46 Grm.	1.75 „	—

Endlich sei hier noch die Frage berührt, ob Keimpflanzen existiren können, in denen es, wenn sie sich bei Lichtabschluss entwickeln, niemals zu einer Anhäufung von Säureamiden und Amidosäuren kommt. Diese Frage ist gewiss im verneinenden Sinne zu beantworten, denn da die Lebenseinheiten des Plasma fortdauernd Dissociationsprocessen anheimfallen und die stickstofffreien Reservestoffe doch stets nur in beschränkten Quantitäten vorhanden sind, so muss früher oder später ein Zeitpunkt eintreten, von dem ab nicht mehr die Gesammtmenge der stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte des Plasma in Eiweiss umgewandelt werden kann. In Folge dessen müssen sich die Säureamide, sowie die Amidosäuren in den Zellen der Keimlinge anhäufen, und diese letzteren sind als völlig abgestorben zu betrachten, wenn die sämmtlichen Lebenseinheiten eine Dissociation erfahren haben, und kein Material zur Eiweissneubildung mehr zur Disposition steht.

---

1) Vgl. Detmer: Physiol.-chem. Untersuchungen über die Keimung etc. S. 84.

Sechstes Capitel.

Die Entstehung und das Verhalten der Peptone bei der Keimung.

Wir haben bereits im ersten Capitel dieses Hauptabschnitts darauf hingewiesen, dass verschiedene Samen, wie die Resultate neuerer Forschungen zeigten, Fermente enthalten, die im Stande sind, Eiweissstoffe in Peptone umzuwandeln. Die Proteinkörper mancher Samen erfahren also bei der Keimung ganz ähnliche Metamorphosen, wie sie in die Verdauungsorgane des animalischen Organismus gelangten Eiweisssubstanzen, und diese Thatsache ist zumal deshalb von Interesse für uns, weil in Folge der in Rede stehenden Processe aus diffusionsunfähigen Körpern (den Eiweissstoffen) Verbindungen (Peptone etc.[1]) entstehen, die Diffusionsfähigkeit besitzen und also für die Translocation stickstoffhaltiger Verbindungen in den Keimpflanzen von Bedeutung sein können[2]).

Allerdings ist zu bemerken, dass die Diffusionsfähigkeit der Peptone nach den Untersuchungen von Maly[3]) keine so bedeutende ist, wie man früher annahm; indessen bewegen sich Peptone doch überhaupt durch Membranen, während die Proteinstoffe dies gar nicht vermögen.

Was das Pflanzenpepsin anbelangt, so besitzt dasselbe nach den Untersuchungen von Gorup-Besanez ganz ähnliche Eigenschaften wie das entsprechende Ferment thierischer Secrete. Dies tritt namentlich deutlich hervor, wenn man bedenkt, dass Gorup-Besanez das Pflanzenpepsin unter Benutzung ganz ähnlicher Methoden abschied, wie solche von Wittich[4]) zuerst zur Isolirung des Pepsins aus thierischen Secreten in Anwendung gebracht wurden, und wenn man in Erwägung zieht, dass die Angaben von Gorup über die Eigenschaften und die Wirkungsweise des Pflanzenpepsins in vielen wesentlichen Punkten mit denjenigen anderer Forscher über animalisches Pepsin übereinstimmen[5]).

---

1) Wenn Pepsin auf Eiweissstoffe einwirkt, so entstehen neben Peptonen noch andere Körper, z. B. Tyrosin. (Vgl. Funke's Lehrbuch d. Physiologie. 5. Aufl. S. 168).

2) Wie im thierischen Organismus, so können die in Keimpflanzen entstandenen Peptone unzweifelhaft ebenfalls in diesen in Proteinstoffe umgewandelt werden.

3) Vgl. Maly, Pflüger's Archiv. B. 9, S. 585.

4) Vgl. Wittich: Ebendaselbst. B. 2, S. 197.

5) So hat z. B. neuerdings Hüfner (vgl. Journal f. prakt. Chem., neue Folge.

Das Wesen des Vorganges, der sich bei der Einwirkung des Pepsins auf Eiweisskörper geltend macht, ist noch wenig erforscht. Der Process gehört in die Kategorie der sogen. katalytischen Vorgänge, denn es scheint das Ferment bei der Peptonisirung der Proteinstoffe selbst gar nicht verändert zu werden [1]). Für das animalische Pepsin ist es bekannt, dass dasselbe seine eigenthümliche Wirkung nur bei Gegenwart von Säure (Salzsäure) geltend machen kann, und C. Schmidt hat sogar die Ansicht ausgesprochen, dass Pepsin und Säure in den peptonisirend wirkenden Secreten in chemischer Verbindung vorhanden seien [2]).

Das in Samen und Keimpflanzen vorhandene Pepsin wird ebenfalls wohl nur peptonisirend auf Eiweisskörper einwirken können, wenn Säuren zugegen sind, und es ist dies um so wahrscheinlicher, als man gefunden hat, dass verschiedene Flüssigkeiten, die von pflanzlichen Organismen abgeschieden werden, in der That nur dann verdauend auf Proteinstoffe einwirken, wenn sie ein Ferment und Säuren gleichzeitig enthalten [3]).

In dem kannenförmigen Theile der Blätter von Nepenthesarten wird bekanntlich eine Flüssigkeit, die ein pepsinartig wirkendes Ferment enthält, secernirt. Die fermenthaltige Flüssigkeit an sich ist nicht im Stande, Eiweiss zu verdauen; sie erlangt dies Ver-

---

B. 5, S. 385, B. 10, S. 1 und B. 11, S. 43) eingehendere Studien über das Pepsin des Pancreas angestellt. Er fand, dass das isolirte Ferment Stickstoff sowie Schwefel, etwa 43 % Kohlenstoff und etwa 7 % Wasserstoff enthielt. Die Substanz war im Stande, Proteinstoffe in Peptone und Stärke in Traubenzucker umzuwandeln. Sie vermochte aber auch neutrale Fette in Glycerin und Fettsäuren zu zerlegen. Ueber dies letztere Verhältniss vergleiche man Hoppe-Seyler's physiologische Chemie, 1878, 2. Theil, S. 263. Ob das Ferment des Pancreas als chemisches Individuum anzusehen ist, oder ein Gemenge mehrerer Substanzen, von denen jeder eine specifische Wirkung zukommt, repräsentirt, konnte bis jetzt nicht ermittelt werden. Wahrscheinlicher ist das letztere, und es ist anzunehmen, dass das Ferment der Samen, welches im Stande ist, auf Proteinstoffe und ebenfalls auf Amylum einzuwirken, gleichfalls ein Gemenge mehrerer Substanzen darstellt. Sollte diese Anschauung die richtige sein, so dürfte man natürlich nur den peptonbildenden Körper, wie bereits früher bemerkt, als Pflanzenpepsin bezeichnen.

1) Vgl. Funke, Lehrbuch d. Physiologie. 5. Auflg. S. 170. Ueber das Wesen der katalytischen Vorgänge vergleiche man Hüfner, Journal f. prakt. Chem., neue Folge. B. 10, S. 385, sowie Nägeli, Theorie der Gährung. 1879. S. 54.

2) Uebrigens ist es sehr fraglich, ob diese Ansicht die richtige ist. Vgl. Funke, Lehrbuch, S. 171.

3) Es sei noch bemerkt, dass Samen- sowie Keimpflanzenextracte in der That oft intensiv sauer reagiren.

mögen erst, wenn verschiedene Körper, namentlich stickstoffhaltige, von aussen in die in den Kannen vorhandene Flüssigkeit gerathen und die Absonderung einer Säure durch Reizwirkung herbeiführen [1]). Ebenso ist die von den Drüsenhaaren der Blätter von Drosera rotundifolia secernirte Flüssigkeit nur im Stande, Eiweiss zu peptonisiren, wenn sie eine saure Reaction besitzt [2]).

Ueber die Zusammensetzung und Eigenschaften der Peptone des vegetabilischen Organismus ist nichts genaueres bekannt. Dagegen dürfte es auch hier wieder geboten erscheinen, einige Bemerkungen über die Peptone, welche man unter Benutzung des animalischen Pepsins darstellen kann, zu äussern. Maly [3]) fand, dass das aus Fibrin gewonnene Pepton in Wasser löslich ist. Die Lösung wurde auf Zusatz von Essigsäure, Salzsäure, Kochsalz und Glaubersalz nicht gefällt. Durch Sublimatlösung und Tannin dagegen erfolgte dies. Für den procentischen Gehalt des aschenfreien und trockenen Fibrins und Fibrinpeptons an Kohlenstoff, Wasserstoff, sowie Stickstoff ermittelte Maly die folgenden Werthe:

	Fibrin.	Fibrinpepton.
C	52.51	51.40
H	6.98	6.95
N	17.34	17.13

Die Eiweissstoffe sollen nach Maly in Berührung mit Pepsin keine Spaltung erfahren, sondern ihrer Gesammtmasse nach unter Wasseraufnahme in Peptone übergehen. Endlich sei noch bemerkt, dass Maly zur Entscheidung der Frage, ob die Peptone dem animalischen Organismus als Nahrungsmittel dienen und zur Bildung von Proteinstoffen dienen können, Beobachtungen anstellte, bei deren Ausführung er Tauben als Versuchsobjecte benutzte. Diese Fragen konnten im bejahenden Sinne beantwortet werden. Ebenso darf mit Bestimmtheit angenommen werden, dass die im vege-

---

1) Vgl. Gorup-Besanez und Will, Berichte d. deutschen chem. Gesellschaft. 1876. S. 673.

2) Vgl. Darwin: Insectenfressende Pflanzen. 1876. Capitel 6. Daselbst ist auch angegeben, dass die Flüssigkeit, welche von den Drüsenhaaren der Drosera secernirt wird, weder freie Salz- noch Schwefelsäure, wohl aber freie organische Säuren enthält. Organische Säuren können bei Gegenwart von Pepsin, wie Gorup und Will in ihrer soeben citirten Abhandlung angeben, thatsächlich verdauend auf Eiweissstoffe einwirken.

3) Vgl. Maly, Pflügers Archiv. B. 9, S. 585.

tabilischen Organismus, speciell in Keimpflanzen, entstehenden Peptone für die Entwickelung der Gewächse nicht ohne Bedeutung sind [1]).

---

1) Die Resultate, zu denen einerseits Fr. Darwin, andererseits Kellermann, v. Raumer und Reess (vgl. Botan. Zeitung, 1878, Nr. 14) bei ihren Untersuchungen über den Einfluss künstlicher Fütterung der Drosera rotundifolia mit Eiweisskörpern auf die Entwickelung der Pflanzen gelangt sind, scheinen diese Ansicht zu unterstützen.

Vierter Hauptabschnitt.

Die Athmung der Keimpflanzen.

Erstes Capitel.

Historisches.

Eine eingehende Betrachtung aller derjenigen Verhältnisse, welche sich auf die Pflanzenathmung beziehen, ist um so nothwendiger, als dadurch überhaupt erst ein tieferes Verständniss des Wesens mancher Stoffwechselprocesse möglich wird. Für uns handelt es sich selbstverständlich in erster Linie darum, den Athmungsprocess keimender Samen kennen zu lernen, aber es erscheint sicher als gerechtfertigt, zunächst die Entwickelung der Theorie der Pflanzenathmung überhaupt ins Auge zu fassen, und ebenso dürfte es nicht ohne Nutzen sein, die Entwickelung der Lehre von der Assimilation hier wenigstens in soweit kurz zu charakterisiren, als dadurch ein besseres Verständniss der Theorie der Athmung herbeigeführt wird.

Die zunächst anzuführenden Beobachtungen sind zu einer Zeit gemacht worden, in der die von Stahl zuerst aufgestellte phlogistische Theorie noch herrschte[1]). Es ist von Bedeutung, sich hieran immer wieder zu erinnern, denn nur dann wird man im Stande sein, die ersten Untersuchungen über das Verhalten der Pflanzen zur Luft richtig beurtheilen zu können.

Als eigentlicher Begründer der Lehre von der Pflanzenathmung und der Assimilation ist Jngen-Houss anzusehen[2]).

---

1) Diese Theorie ist für die Entwickelung der Chemie von grosser Bedeutung geworden; sie hat lange Zeit hindurch geherrscht und wurde erst aufgegeben, als Lavoisier seine epochemachenden Untersuchungen über das Wesen des Verbrennungsprocesses ausgeführt hatte.

2) In unmittelbarem Zusammenhange mit den Beobachtungen von Jngen-Houss stehen diejenigen von Bonnet und Priestley. Der erstere (vgl. récherches sur l'usage des feuilles etc., deutsch von Arnold, 1762, S. 15) giebt an, dass sich an Blättern, die unter Wasser dem Sonnenlichte ausgesetzt sind, Gasblasen zeigen.

Jngen-Houss veröffentlichte im Jahre 1779 sein berühmtes Werk: Experiments upon vegetables etc. [1]). Bonnet hatte, wie gesagt, beobachtet, dass sich an Blättern, die unter Wasser dem Sonnenlicht ausgesetzt werden, Blasen zeigen. Diese Beobachtung und die weitere, dass die Blätter zur Zeit der Nacht kein Gas abscheiden, führten den genannten Forscher zu der Meinung, dass die Wärme der Sonnenstrahlen die Entstehung der Blasen veranlasse. Die in das Wasser eingetauchten Blätter sind mit einer Luftschicht überzogen, und diese Luft soll nun nach Bonnet unter dem Einfluss der Sonnenwärme in Form von Gasblasen entweichen. Es ist selbstverständlich, dass durch Ausdehnung der Luft, die den sich unter Wasser befindenden Pflanzentheilen adhärirt, Gasblasen entstehen können; indessen die Thatsache, dass viele Blätter unter den angegebenen Verhältnissen sehr beträchtliche Gasmengen abgeben, hätte bereits Bonnet zu der Ueberzeugung führen müssen, dass die von ihm geltend gemachten Anschauungen zur Erklärung der beobachteten Phänomene nicht ausreichten. Erst Jngen-Houss machte die ungemein wichtige Entdeckung, dass das Sonnenlicht und nicht die Wärme der Sonnenstrahlen als Hauptursache der Gasentwickelung angesehen werden müsse. Jngen-Houss brachte eine bestimmte Anzahl von Blättern in ein mit Wasser gefülltes Gefäss und näherte dieses dem Feuer derartig, dass die Flüssigkeit ungefähr die Temperatur annahm, welche das Wasser in einem anderen Gefässe, in welchem sich ebenfalls Blätter befanden, durch den Einfluss der Sonnenstrahlen erlangt hatte. Bei der Ausführung dieses und ähnlicher Versuche beobachtete Jngen-Houss nun, dass die Blätter, wenn sie dem Sonnenlicht nicht ausgesetzt werden, aber sich dennoch unter dem Einflusse einer höheren Temperatur befinden, nur wenig Gasblasen abscheiden, und dass nur das von den Pflanzentheilen bei der Insolation gelieferte Gas den Charakter dephlogi-

---

Uebrigens hat Bonnet diese Beobachtung nicht weiter verfolgt. Priestley (vgl. Sachs Geschichte d. Botanik, 1875, S. 533) erzielte ebenfalls bei seinen Untersuchungen über die Pflanzen kein Resultat von besonderer physiologischer Bedeutung, aber er äussert doch den folgenden bemerkenswerthen Gedanken: Wenn die von den Pflanzen ausgehauchte Luft von besserer Beschaffenheit ist, als die atmosphärische, so folgt daraus, dass das Phlogiston der Luft in den Pflanzen zurückbehalten und zur Ernährung benutzt werde, wodurch der entweichende Theil, seines Phlogistons entledigt, einen hohen Grad von Reinheit gewinnen müsse.

1) Mir steht die von Scherer in den Jahren 1786 — 1788 in zwei Bänden herausgegebene Ausgabe des Werkes von Jngen-Houss zur Disposition.

stisirter Luft trägt [1]). Die Pflanzen sind nach Jngen-Houss im Stande, die „verdorbene Luft“, welche durch Thiere, brennende Kerzen oder selbst durch Gewächse erzeugt worden ist, „zu verbessern.“ Der genannte Forscher weist aber immer wieder darauf hin, dass dies nur am Tage geschehe, und dass nur die grünen Pflanzentheile (Blätter und Stengel) im Stande seien, dephlogistisirend zu wirken. Die Luft ist, wie Jngen-Houss besonders betont, als ein wichtiges Nahrungsmittel der Pflanzen anzusehen, und sie wird insbesondere von den oberirdischen Theilen der Gewächse eingesogen, während die Wurzeln die Bestimmung haben, Feuchtigkeit, Salze etc. aufzunehmen.

Wenn die grünen Pflanzentheile nun auch im Stande sind, unter dem Einflusse des Lichtes dephlogistisirtes Gas zu erzeugen, so vermögen sie dennoch unter andern Umständen einen „schreckbaren Einfluss“ auf die Luft auszuüben. Wenn man Pflanzenblätter während der Nacht oder am Tage an einem dunklen Orte in einem verschlossenen Gefässe aufbewahrt, so ist die Luft in dem Gefässe nach einiger Zeit derartig verdorben, dass sie nicht mehr im Stande ist, den Verbrennungs- und Athmungsprocess zu unterhalten. Während die grünen Pflanzentheile die Luft lediglich bei Abwesenheit des Lichtes „mephitisiren“, so wirken Wurzeln, Blüthen und Früchte stets in dieser Weise [2]). Man mag diese Pflanzentheile dem Einfluss des directen Sonnenlichtes aussetzen, sie im Schatten halten oder in die Dunkelheit bringen, stets verderben sie die Atmosphäre, mit der sie sich in Berührung befinden.

Jngen-Houss hatte genugsam erfahren, dass die dephlogistisirte Luft andere Eigenschaften als die gewöhnliche Luft zeige, und er kam auf den Gedanken, zu untersuchen, wie sich dephlogistisirte Luft einerseits und gewöhnliche Luft andererseits Pflanzen gegenüber verhalten möchte. Kressesamen wurden in den verschiedenen Medien zur Keimung gebracht; es zeigte sich, dass, mochten die Untersuchungsobjecte bei Lichtzutritt oder im Dunkeln cultivirt werden, die sich mit gewöhnlicher Luft in Berührung befindenden Pflänzchen stets früher als diejenigen, welche sich in einer aus dephlogistisirter Luft bestehenden Atmosphäre

1) Dephlogistisirte Luft ist nach Jngen-Houss (vgl. B. I, S. LXIX) solche, welche im Stande ist, den Verbrennungsprocess zu unterhalten (Sauerstoff). Phlogistische Luft ist dagegen diejenige, in welcher Verbrennung und Athmung der Thiere nicht erfolgen können (Kohlensäure).

2) Uebrigens bemerkt Jngen-Houss, dass grüne Früchte im Sonnenlicht eine Luft liefern, die besser als die gewöhnliche atmosphärische Luft sei.

entwickelten, zu Grunde gingen. Interessant ist ferner noch dies Ergebniss, dass Kressepflanzen, welche sich mit Luft in Berührung befanden, die ein Gemisch von gewöhnlicher atmosphärischer Luft und von ausgeathmeter Luft darstellte, weniger normal gediehen als andere in reiner atmosphärischer oder dephlogistisirter Luft cultivirte. In brennbarer Luft, welche durch Uebergiessen von Eisen mit Schwefelsäure erhalten worden war, (Wasserstoff) vermögen sich Kressesamen nach Jngen-Houss nicht zu entwickeln.

Die vorstehenden Angaben zeigen deutlich, dass Jngen-Houss sehr gründliche Forschungen ausgeführt hat und bei seinen Untersuchungen von ganz richtigen Gesichtspunkten ausging. Trotzdem Jngen-Houss noch durchaus auf dem Standpunkte der Vertreter der phlogistischen Theorie stand, förderte er Entdeckungen, die nicht nur für die Pflanzenphysiologie, sondern überhaupt für die gesammte Naturwissenschaft von der eminentesten Bedeutung geworden sind. Unser Forscher hatte übrigens selbst eine sehr klare Vorstellung von der Wichtigkeit seiner Beobachtungsresultate; er war nicht der Mann, der lediglich nach neuen Thatsachen haschte; vielmehr kam es ihm zumal darauf an, den inneren Zusammenhang der Erscheinungen zu ergründen [1]).

Jngen-Houss säumte nun nicht, nachdem er mit den grossartigen Entdeckungen, die am Ende des vorigen Jahrhunderts auf dem Gebiete der Chemie gemacht wurden, bekannt geworden war, seine im Vorstehenden mitgetheilten Beobachtungsresultate und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen mit den neu gewonnenen Ergebnissen chemischer Forschung in Einklang zu bringen. Im Jahre 1796 veröffentlichte er eine kleine Schrift, die im Jahre 1798 auch in deutscher Sprache herausgegeben worden ist [2]). S. 57 betont Jngen-Houss z. B., dass die Wurzeln, Blüthen und Früchte stets „kohlengesäuertes Gas" aushauchen, während die grünen Blätter und Stengeltheile im directen Sonnenlicht oder im diffusen Tageslicht Sauerstoff abscheiden. Der Kohlenstoff der zersetzten Kohlensäure verbleibt im vegetabilischen Organismus, und Jngen-Houss ist der Ansicht, dass die Kohlensäure der Luft als hauptsächlichste, wenn auch nicht als alleinige Kohlenstoffquelle der

1) Durch dieses Bestreben wurde Jngen-Houss auch dahin geführt, die Beziehungen zwischen dem Leben vegetabilischer und thierischer Organismen im Grossen und Ganzen durchaus richtig aufzufassen.

2) Vgl. Jngen-Houss: Die Ernährung d. Pflanzen und die Fruchtbarkeit des Bodens. Deutsch v. Fischer. Leipzig, 1798.

Vegetation betrachtet werden müsse, während er der Meinung von Hassenfratz, wonach die Pflanze die kohlenstoffhaltigen Nahrungsmittel mit Hülfe der Wurzeln aus dem Boden aufnehmen soll, widerspricht.

Noch bevor Jngen-Houss die zuletzt erwähnte Schrift publicirt hatte, gab Sennebier zwei Bände physikalisch-chemischer Abhandlungen heraus[1]). Er weist auf die Untersuchungen von Jngen-Houss hin und theilt die Ergebnisse seiner Beobachtungen über den Einfluss des Sonnenlichtes auf die Pflanzen etc. mit, die in allen wesentlichen Punkten mit denjenigen von Jngen-Houss übereinstimmen (man vgl. z. B. B. I, Th. 1, S. 186)[2]). Die Bemerkungen Sennebier's über den Athmungsprocess der Pflanzen sind bei weitem nicht so klar wie diejenigen seines Vorgängers[3]).

Ganz zu Ausgang des vorigen Jahrhunderts erschien Sennebier's umfangreiche fünfbändige physiologie végétale, ein Werk, in welchem der Verfasser die Ergebnisse seiner Forschungen und diejenigen anderer Physiologen mit ungemeiner Weitschweifigkeit darstellt. Es gehört allerdings keine geringe Geduld dazu, Sennebier's Buch eingehender zu studiren; aber dies wird man vor Allem immer sehr anerkennen müssen, dass er bestrebt ist, die sich bei der Ernährung der Pflanzen geltend machenden Erscheinungen vom chemischen Standpunkte aus zu erklären. Für die Zeit, in der Sennebier seine Physiologie schrieb, war es, wie bereits Sachs[4]) bemerkt, von Werth, dies Princip besonders hervorzuheben, „dass die Ernährungsvorgänge innerhalb der Pflanze nach den allgemeinen Gesetzen der Chemie beurtheilt werden müssen.“

Sennebier behandelt den Vorgang der Assimilation in seiner physiologie végétale in sehr umständlicher Weise, und er bespricht die einzelnen Factoren, welche für die Kohlensäurezersetzung von Bedeutung sind, eingehend. Für uns von besonderem

---

1) Vgl. Sennebier, Physikalisch-chemische Abhandlungen über den Einfluss des Sonnenlichtes auf alle drei Reiche der Natur. 2 Bände. Leipzig, 1785.

2) Sennebier hat, dies will ich hier erwähnen, schon Untersuchungen über den Einfluss verschieden farbigen Lichtes auf den Assimilationsprocess ausgeführt. Die bezüglichen Arbeiten Sennebier's scheinen ganz in Vergessenheit gerathen zu sein. Man vgl. physikalisch-chemische Abhandlungen, B. 1, Th. 1, S. 153.

3) Als Sennebier seine physikalisch-chemischen Abhandlungen schrieb, war er noch ein Anhänger der phlogistischen Theorie.

4) Man vgl. Sachs, Geschichte d. Botanik. 1875. S. 536.

Interesse sind die Bemerkungen des genannten Forschers über den Keimungsprocess [1]).

Von weit grösserer Bedeutung als Sennebier's soeben genanntes Werk ist dasjenige eines anderen Forschers für die Entwickelung der Pflanzenphysiologie geworden. Wir haben hier natürlich Theodor de Saussures recherches chimiques sur la végétation im Auge, eine Schrift, die im Jahre 1804 erschien, und in welcher der Verfasser die wichtigsten Probleme der Ernährungsphysiologie mit bewunderungswürdiger Einsicht und Klarheit behandelt. Hatten Jngen-Houss und Sennebier die Fragen, welche sich auf die Assimilation und die Athmung der Pflanzen bezogen, nur ganz im Allgemeinen zu lösen versucht, so ging Saussure nun auf die Details ein. Jenen Männern war die quantitative Methode fast fremd geblieben; für Saussure war dieselbe das wichtigste Hülfsmittel zur Erforschung der Erscheinungen und ihrer Ursachen.

Es ist bekannt, dass die Bodenflüssigkeit ein gewisses Quantum organischer (humoser) Stoffe in Lösung enthält. Saussure glaubt durch Experimente nachgewiesen zu haben, dass die Pflanzenwurzeln im Stande seien, solche verbrennliche Körper aufzunehmen [2]), und er ist der Meinung, dass die in den vegetabilischen Organismus übergegangenen humosen Substanzen für die Pflanze als kohlenstoffhaltige Nahrungsmittel verwerthet werden können. Aber Saussure war weit davon entfernt, den organischen Stoffen des Bodens eine irgendwie grössere Bedeutung als vegetabilische Nahrungsmittel beizumessen; er wusste viel zu gut, dass die Löslichkeit der humosen Substanzen in der Bodenflüssigkeit eine nur geringe sei, und er hatte beobachtet, dass Pflanzen, deren Wurzeln in destillirtes Wasser eintauchen und deren grüne Theile dem Einfluss des Sonnenlichts ausgesetzt sind, eine Bereicherung an Trockensubstanz und Kohlenstoff erfahren [3]). Saussure sagt z. B. [4]):

„On reconnaitra, que l'eau, que le végétal puise, soit dans le

---

1) Vgl. Sennebier: Physiologie végétale. T. III. p. 354.

2) Es sei bemerkt, dass die Experimente, welche Saussure über die Frage nach der Aufnahme humoser Stoffe seitens der Pflanzen anstellte, nicht geeignet waren, bestimmten Aufschluss zu geben. Man vgl. meine bezüglichen Bemerkungen und Untersuchungen in den Versuchsstationen, B. 14, S. 293 und B. 15, S. 284.

3) Vgl. Saussure: Chemische Untersuchungen über die Vegetation. Deutsch v. Voigt. Leipzig, 1805. S. 46.

4) Saussure: Recherches chimiques sur la végétation. 1804. p. 270.

sol, soit dans l'atmosphère, et qu'il solidifie, fait, en poids, la plus grande partie de la substance sèche de la plante, que le carbone lui est fourni en état de gaze par l'atmosphère en plus grande quantité que par toute autre source.“

Saussure constatirte auch, dass die grünen Pflanzen, wenn ihnen keine Kohlensäure zur Disposition steht, nach einiger Zeit absterben. Er machte ferner die wichtige Entdeckung, dass bei der Bildung der Trockensubstanz im vegetabilischen Organismus nicht nur der Kohlenstoff der Kohlensäure Verwendung findet, sondern dass sich die Pflanze dabei gleichzeitig die Elemente des Wassers aneignet.

Wenn wir uns bemühen, die Resultate, zu denen Saussure bei seinen Untersuchungen über die Athmung der Pflanzen geführt wurde, kurz anzudeuten, so ist zunächst zu bemerken, dass er gleich im ersten Capitel seines Werkes auf die Unentbehrlichkeit des Sauerstoffs für den Keimungsprocess der Samen hinweist. Die Keimung erfolgt nur bei Gegenwart des Sauerstoffs, und Saussure hat gewisse Versuche, auf die wir später noch eingehender zurückkommen werden, angestellt, aus denen — was sehr wichtig ist — hervorgeht, dass Beziehungen zwischen der den Samen zur Disposition stehenden Sauerstoffmenge und dem Wachsthum der Keimtheile (Würzelchen) existiren. Der von den keimenden Samen absorbirte Sauerstoff verbindet sich mit dem Kohlenstoff der vegetabilischen Substanz, und es wird Kohlensäure gebildet.

Aber Saussure fand auch, dass Pflanzen, die bereits das Stadium der Keimung hinter sich haben, und ergrünt sind, ohne die Gegenwart des Sauerstoffs nicht gedeihen können. Wurden grüne Pflanzen in eine sauerstofffreie Atmosphäre, z. B. unter einen Stickstoff oder Wasserstoff enthaltenden Recipienten gebracht, so gingen sie alsbald zu Grunde, wenn sie dem Einfluss des Lichtes entzogen wurden. Zu einem ganz anderen Resultate gelangte Saussure, wenn er die in einer Atmosphäre von Stickstoff, Wasserstoff oder Kohlenoxyd oder im luftleeren Raum verharrenden grünen Pflanzentheile dem Wechsel von Tag und Nacht aussetzte[1]). Verschiedene Pflanzen erhielten sich unter diesen Verhältnissen Monate lang frisch, sie wuchsen sogar, aber wurden sehr kraftlos. Die Ursachen der Erscheinungen, welche sich bei der Ausführung der erwähnten Experimente geltend machten, sind bereits

1) Saussure hat constatirt, dass die grünen Pflanzentheile unter keinen Umständen im Stande sind, Kohlenoxydgas zu zersetzen.

von Saussure klar erkannt worden. Cultivirt man Pflanzen in einem indifferenten Gase (Stickstoff etc.), und setzt man die Untersuchungsobjecte dem Wechsel von Tag und Nacht aus, so muss natürlich die in der Finsterniss producirte beträchtliche Kohlensäurequantität am Tage von den grünen Pflanzenzellen zersetzt werden; der frei gewordene Sauerstoff dient dann wieder zur Oxydation vegetabilischer Substanz. Eine Vermehrung der Trockensubstanz der Pflanze kann selbstverständlich unter diesen Umständen nicht erfolgen. Wurden die Pflanzen in einer Atmosphäre von Stickgas oder Wasserstoffgas bei permanentem Lichtabschluss belassen, so mussten sie wegen des Sauerstoffmangels alsbald zu Grunde gehen. Ebenfalls starben die Pflanzen bei denjenigen Untersuchungen bald ab, die Saussure in der Weise anstellte, dass er die Gewächse in einer Atmosphäre eines indifferenten Gases dem Licht aussetzte, und die producirte Kohlensäure stets von Kalk oder Kali absorbiren liess.

Ganz ausgezeichnete Untersuchungen hat Saussure über die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe grüner Pflanzentheile ausgeführt. Er brachte unmittelbar vor Beginn der Beobachtungen abgepflückte Blätter etc. in einen mit atmosphärischer Luft angefüllten Recipienten, der durch Quecksilber abgesperrt war. Nach Verlauf einer Nacht hatte sich das Volumen der Luft in dem limitirten Raume stets vermindert, aber durchaus nicht in allen Fällen in demselben Grade. Die gewöhnlichen dünnen Blätter, z. B. diejenigen der Eiche und der Rosskastanie, nahmen eine erhebliche Sauerstoffmenge auf und hauchten Kohlensäure dafür aus, aber diese Kohlensäurequantität entsprach der absorbirten Sauerstoffmenge nicht, vielmehr war sie etwas geringer. Die dicken fleischigen Blätter von Crassula cotyledon, Sempervivum tectorum, Agave americana, Stapelia variegata, sowie die Stammglieder von Opuntia verminderten das Luftvolumen bedeutend; sie nahmen Sauerstoff auf, schieden aber zunächst keine nachweisbaren Kohlensäurequantitäten ab. Die Sauerstoffaufnahme der Stammglieder von Opuntia erfolgt zunächst schnell, allmählich wird sie langsamer, und schliesslich scheiden die Pflanzentheile, wenn sie sich mit der unter Vermittelung des absorbirten Sauerstoffs in ihrem Gewebe gebildeten Kohlensäure gesättigt haben, Kohlensäure ab. Bei den meisten echten Blättern erfolgt die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe gleichzeitig. Bei höherer Temperatur ist die von den Cactusgliedern absorbirte Sauerstoffmenge grösser als bei niederer. Wir wollen hier nur noch erwähnen, dass Saussure

sich endlich noch mit eingehenden Studien über die Athmung der Wurzeln, der holzigen Stammtheile, der Blüthen und der Früchte beschäftigte.

Die Zeit vom Jahre 1804 bis zum Jahre 1840 ist für die Entwickelung der Pflanzenphysiologie durchaus nicht günstig gewesen. Man arbeitete und forschte nicht in der Weise, wie Jngen-Houss, Sennebier und Saussure es gethan, weiter; vielmehr verlor man die Hauptprobleme, um die es sich handelte, immer mehr aus dem Auge, und es machte sich in vielen Fragen eine erstaunliche Verwirrung geltend. Namentlich tritt dies hervor, wenn wir uns daran erinnern, welche Anschauungen zu Anfang dieses Jahrhunderts nach und nach über die Quellen des Kohlenstoffs der Pflanzen entstanden. Die Resultate, die durch Jngen-Houss und andere gewonnen waren, fanden nur geringe Beachtung und dafür bildete sich, wie bekannt ist, die Humustheorie aus [1]). Die Ursache, dass die Pflanzenphysiologie nach dem Erscheinen des Saussureschen Werkes so geringe Fortschritte machte, dürfte wahrscheinlich darin zu suchen sein, dass man der Lebenskraft eine so grosse Bedeutung beilegte. Man dachte nicht daran, die Lebenserscheinungen der Pflanzen vom rein physikalisch-chemischen Standpunkte aus zu betrachten, sondern man war stets sogleich mit der Lebenskraft bei der Hand, wenn es sich darum handelte, die Ursachen der sich bei der Entwickelung der Vegetation geltend machenden Phänomene zu ermitteln. Es ist deshalb ein nicht hoch genug anzuschlagendes Verdienst Liebigs, wenn er im Jahre 1840 gründlich mit allen Vorurtheilen aufräumte. Er verstand es meisterhaft, Klarheit in die auf dem Gebiete der Ernährungsphysiologie herrschende Verwirrung zu bringen, und die Spreu von dem Weizen zu sondern [2]).

Aber es darf nicht übersehen werden, dass, wenn die Pflanzenphysiologie in den Jahren von 1804 bis 1840 auch im Ganzen und Grossen keine wesentlichen Fortschritte machte, doch einzelne Zweige unserer Wissenschaft in bedeutungsvoller Weise gefördert

---

1) Wir wollen die Humustheorie nicht eingehender betrachten und brechen hier deshalb unsere Bemerkungen über die Entwickelung der Lehre von der Assimilation ab. In meiner Inaugural-Dissertation über die natürlichen Humuskörper des Bodens und ihre landwirthschaftliche Bedeutung, Leipzig, 1871, habe ich mich eingehend über die Humustheorie und über Liebigs Stellung zu derselben etc. ausgesprochen.

2) Vgl. Liebig: Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 1840. Dieses berühmte Buch hat viele Auflagen erlebt.

worden sind, und wir müssen bemerken, dass gerade die Lehre von der Athmung der Pflanzen in jener Zeit eine erfreuliche Weiterentwickelung erfuhr.

Grischow[1]) zeigte, dass die Pilze Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure abscheiden. Saussure[2]) stellte sehr genaue Untersuchungen über die Athmung der Blüthen an. Er fand, dass die Blüthentheile mehr Sauerstoff als die Laubblätter derselben Pflanzen in gleicher Zeit und unter gleichen Umständen absorbiren (bezogen auf gleiche Volumeneinheiten oder gleiche Gewichtstheile der verschiedenen Organe). Die Geschlechtstheile der Blüthen nahmen meist merklich mehr Sauerstoff auf als die Blumenblätter; männliche Blüthen binden in gleicher Zeit mehr Sauerstoff als weibliche. Saussure hat auch im Jahre 1822 den Zusammenhang zwischen der Sauerstoffathmung und der Selbsterwärmung der Blüthen direct constatirt, nachdem darüber bereits von Sennebier[3]) Andeutungen gemacht worden waren.

De Candolle verstand es recht gut, die Resultate, welche sich bis zu seiner Zeit bei dem Studium der Assimilation und der Athmung ergeben hatten, in seiner Physiologie zu verwerthen. Die Athmungserscheinungen behandelt er übrigens sehr aphoristisch[4]). Treviranus war im Gegensatz zu De Candolle ein Anhänger der Humustheorie. Ueber die Athmung und über mit derselben im Zusammenhange stehende Erscheinungen spricht sich Treviranus allerdings eingehend aus[5]), aber seine Darstellungen sind unklar und verworren. Bei jeder Gelegenheit ist von der Lebenskraft die Rede, und derselben werden die mannigfachsten Functionen im Organismus der Pflanzen zugeschrieben. Meyen[6]) steht in sofern auf einem Standpunkt mit Treviranus, als er ebenfalls die Bedeutung der Kohlensäurezersetzung seitens der

1) Vgl. Grischow: Physikalisch-chemische Untersuchungen über die Athmung der Gewächse etc. Leipzig, 1819. Citirt nach Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. B. 2. S. 159.

2) Vgl. Saussure: Anl. de chim. et de phys. 1822. T. 21. p. 279. Citirt nach Sachs: Handbuch d. Experimentalphysiologie. S. 276.

3) Vgl. Sennebier, Physiologie végétale. T. 3. p. 315.

4) Vgl. De Candolle: Pflanzenphysiologie. Deutsch von Röper, 1833—1835. B. 1, S. 112 und B. 2. S. 270.

5) Vgl. Treviranus, Physiologie d. Gewächse. 1835—1838. B. 1, S. 526 und B. 2, S. 685.

6) Vgl. Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. 1837—1839. Von besonderem Interesse für uns sind Meyens Darstellungen im zweiten Bande, S. 144 etc.

grünen Pflanzentheile im Licht nicht zu würdigen versteht. Dagegen ist aber zu bemerken, dass, während Treviranus keinen ernsthaften Versuch machte, die Lebenserscheinungen der Pflanzen unter Berücksichtigung physikalisch-chemischer Principien zu erklären, Meyen im Gegentheil immer wieder auf solche Bestrebungen zurückgeführt wird und von der Lebenskraft nichts wissen will. Meyen's Anschauungen über die Pflanzenathmung sind beachtenswerth. Auch die Eigenwärme und die Phosphorescenz der Pflanzen sind nach ihm Erscheinungen, die mit der Sauerstoffaufnahme der Gewächse im unmittelbarsten Zusammenhange stehen.

Hatten Sennebier und Saussure mit Bestimmtheit auf die Existenz einer Eigenwärme der Pflanzen hingewiesen, so leugnete Göppert dieselbe im Jahre 1830 mit derselben Bestimmtheit [1]). Indessen bereits zwei Jahre später überzeugte er sich von der Irrthümlichkeit seiner früheren Anschauung und beobachtete, dass man die Wärmeentwickelung seitens der Pflanzen leicht constatiren kann, wenn man grössere Samenquantitäten zusammenhäuft und zum Keimen anregt. Göppert beobachtete ebenfalls, dass entwickelte grüne Pflanzen Wärme erzeugen, und dass sich dies bei geeigneter Anordnung der Experimente leicht nachweisen lässt. Sehr sorgfältig hat Dutrochet die Wärmeerzeugung grüner Vegetationsorgane untersucht [2]). Da alle Pflanzentheile Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure aushauchen und bei jedem Oxydationsprocesse Wärme frei wird, so folgert Dutrochet, dass ebenfalls in jedem lebenden Pflanzentheile Wärme erzeugt werden müsse. In der That fand er seine Voraussetzung bestätigt, wenn er die Untersuchungsobjecte vor irgend stärkerer Transpiration schützte, also dasjenige Moment ausschloss, durch welches der vegetabilische Organismus vor allen Dingen Wärme verliert [3]).

Bereits im Jahre 1837 hatte sich Dutrochet durch die Publication einer vortrefflichen Abhandlung ein grosses Verdienst um die Lehre von der Pflanzenathmung erworben [4]). Er weist in dieser Arbeit mit Nachdruck auf die Nothwendigkeit der Unterscheidung zwischen Athmung und Kohlensäurezersetzung unter dem Einflusse des Lichtes hin und constatirt ferner, dass die Pflan-

1) Vgl. Göppert: Ueber die Wärmeentwickelung in d. Pflanzen, deren Gefrieren etc. Breslau, 1830. S. 228.

2) Vgl. Dutrochet, Anl. d. sc. nat. 1840. T. 13, p. 5.

3) Dutrochet stellte seine Untersuchungen mit Hülfe eines thermoelektrischen Apparats an.

4) Vgl. Dutrochet, Mémoires pour servir etc. T. 1, p. 562.

zen in sauerstofffreien Medien weder periodische Bewegungen noch Reizbewegungen ausführen können.

Seit 1840 ist der Athmungsprocess der Pflanzen vielfach weiter studirt worden. Es kam namentlich darauf an, das Detail eingehend zu erforschen, und wir werden weiter unten specieller auf die bezüglichen Arbeiten eingehen. Nur darauf sei hier noch hingewiesen, dass Gareau[1]) im Jahre 1851 den Satz durch die Resultate vieler Experimente belegte, dass grüne Pflanzentheile nicht nur im Dunkeln, sondern ebenfalls im intensiven Sonnenlicht Kohlensäure produciren, und dass Kühne im Jahre 1864 die Unentbehrlichkeit des Sauerstoffs für das Stattfinden der Plasmaströmung nachwies[2]).

Zweites Capitel.

Der Sauerstoff und der Keimungsprocess.

Ein tieferes Verständniss vieler Processe im vegetabilischen Organismus war erst möglich, nachdem die Chemie einen gewissen Grad der Entwickelung erreicht hatte, nachdem man namentlich mit den Eigenschaften des Sauerstoffs, mit der Zusammensetzung der Luft etc. bekannt geworden war. Es liegt aber in der Natur der Sache, dass trotzdem bereits zu einer Zeit, in der man nur über sehr geringe chemische Kenntnisse verfügte, wichtige Entdeckungen auf dem Gebiete der Physiologie gemacht wurden. Späteren Zeiten blieb es vorbehalten, die wahren Ursachen der beobachteten Erscheinungen festzustellen.

Bereits im Jahre 1695 hat Homberg Samen von Portulaca oleracea, Lactuca sativa und Lepidium sativum in einen mit verdünnter Luft erfüllten Raum gebracht und auf ihre Keimfähigkeit geprüft. Es zeigte sich, dass die Keimung unter diesen Umständen sehr verzögert wurde oder gar nicht erfolgte[3]).

Lesebure hat gefunden, dass Samen des Rettigs noch in einem Gemisch von 5 Theilen Stickstoff und 1 Theil Sauerstoff keimen, ja er giebt an, dass selbst dann noch eine Keimung der

---

1) Vgl. Gareau, Anl. d. sc. nat. 1851. T. 16, p. 280. Es wäre übrigens aus verschiedenen Gründen sehr wünschenswerth, wenn die Untersuchungen Gareau's wiederholt und erweitert würden.

2) Vgl. Kühne, Untersuchungen über das Protoplasma. Leipzig 1864. S. 88.

3) Vgl. De Candolle, Pflanzenphysiologie. B. 2. S. 272.

Samen erfolgte, wenn das Gasgemisch nur zu $^1/_{32}$ aus Sauerstoff bestand. Unter diesen Verhältnissen keimten die Samen aber sehr langsam und mehrere gelangten überhaupt nicht zur Entwickelung[1][2]. A. v. Humboldt[3]) machte die Beobachtung, dass Samen in reinem Sauerstoff schneller als in atmosphärischer Luft keimen.

Weitere, übrigens gewiss nicht besonders exact ausgeführte Untersuchungen über die Bedeutung des Sauerstoffs für die Keimung sind von Rollo ausgeführt worden[4], und zwar experimentirte derselbe mit Weizenkörnern, die im angefeuchteten Zustande zu den Versuchen benutzt wurden.

In Berührung mit atmosphärischer Luft keimten die Weizensamen in 4 oder 5 Tagen. Wurde die Luft durch reinen Sauerstoff oder durch ein aus 46 $^0/_0$ Sauerstoff und 54 $^0/_0$ gewöhnlicher Luft bestehendes Gasgemisch ersetzt[5], so erfolgte die Keimung bereits in 3 Tagen. In einem mit Stickstoff oder Wasserstoff gefüllten Raume war selbst nach 14 Tagen kein einziger der benutzten Samen zum Keimen gelangt. Es mögen hier nur einige von Rollo bei der Ausführung seiner Untersuchungen beobachtete Einzelheiten Erwähnung finden.

Bei der Keimung der Weizensamen in atmosphärischer Luft verminderte sich das Volumen derselben im Recipienten nur wenig. Der Sauerstoff war vollständig absorbirt; Stickstoff und Kohlensäure waren im Verhältniss von 20:6 vorhanden.

Bei der Keimung des Weizens in reinem Sauerstoff verminderte sich das Volumen des Gases um $^1/_3$. 1 Raumtheil des Gases enthielt nach der Keimung 0.64 Raumtheile Kohlensäure.

Keimten die Samen in einem aus 46 $^0/_0$ Sauerstoff und 54 $^0/_0$ atmosphärischer Luft bestehenden Gasgemenge, so wurde weder Verminderung noch Vermehrung des Volumens desselben wahrgenommen. Das Gas enthielt nach der Keimung viel Kohlensäure und wenig Sauerstoff.

---

1) Vgl. De Candolle, Pflanzenphysiologie. B. 2. S. 272.

2) Heiden (vgl. dessen Düngerlehre, B. 1, S. 142) hat die Resultate der Untersuchungen Lesebure's durch eigene Beobachtungen durchaus bestätigen können.

3) Vgl. A. v. Humboldt, Aphorismen. Aus dem Lateinischen übersetzt von Fischer. Leipzig, 1794. S. 68. Humboldt's Beobachtung dürfte, wie wir später sehen werden, unrichtig sein.

4) Vgl. Rollo, Anl. d. Chm. T. 25. Auszug aus einer Abhandlung vom Jahre 1798. Citirt nach Tietschert, Keimungsversuche, Halle, 1872, S. 3.

5) Zweifelsohne haben wir es hier mit Volumenprocenten zu thun.

Wenn die Samen sich mit reinem Stickgas, das mit Hülfe von Wasser abgesperrt war, in Berührung befanden, so machte sich eine geringe Volumenverminderung des Gases geltend. Kohlensäure wurde producirt, Wachsthum des Embryo der Untersuchungsobjecte erfolgte aber in keiner Weise.

Die wichtige Thatsache, dass Sauerstoff vorhanden sein muss, wenn die Keimung erfolgen soll, ist ebenfalls von Saussure constatirt worden [1]). Dieser Forscher brachte unter einen mit Quecksilber angefüllten Recipienten kochendes Wasser, um Erbsen, Linsen und Samen von Alisma Plantago und Polygonum amphibium nach der Abkühlung der Flüssigkeit mit derselben in Berührung zu bringen. Die Samen keimten nicht, wenn die Wassermenge, mit der sie sich in Wechselwirkung befanden, eine nur geringe war. Dagegen erfolgte die Keimung, wenn viel Wasser zur Anwendung gelangte, wenn z. B. die Wassermenge das 100- oder 200-fache Gewicht der Samen besass. Die Resultate Saussure's sind durchaus erklärlich. Das über das Quecksilber gelangende heisse Wasser enthielt etwas atmosphärische Luft. Aber die Menge derselben war so gering, dass den Samen erst in Berührung mit beträchtlicheren Flüssigkeitsquantitäten genügende Sauerstoffmengen zur Keimung zu Gebote standen. Saussure bemerkt auch, dass das Wachsthum des Würzelchens der Untersuchungsobjecte um so energischer wurde, je grösser die Wasserquantitäten waren, mit denen sich die Samen in Berührung befanden [2])[3]).

Beachtung verdient hier noch die Angabe von Max Schulz [4]), dass er niemals eine Keimung der Samen des Buchweizens sowie des Leins etc., die mit etwas Wasser und etwa 150 Cc. Luft in ein zugeschmolzenes Glasrohr eingeschlossen waren, beobachten konnte. Wurden grössere Quantitäten von Kressesamen den Keimungsbedingungen unter denselben Umständen ausgesetzt, so erfolgte ebenfalls keine Entwickelung der Embryonen; eine solche

---

1) Vgl. Saussure, Chemische Untersuchungen über die Vegetation. Deutsch von Voigt. 1805. S. 3.

2) Wenn man einen schnellen Luftstrom durch Wasser leitet, in welchem sich Samen befinden, so erfolgt die Keimung derselben oft ziemlich normal. Man vgl. eine bezügliche Angabe von Schlag und Bressler in Haberlandt's wissenschaftl.-praktischen Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues. B. 2. S. 46.

3) Man vgl. auch die Angabe von Sennebier (Physiologie végétale, T. 3, p. 383) und von Davy (Elemente der Agriculturchemie, Deutsch von Wolff, 1814, S. 241) über die Nothwendigkeit des Sauerstoffs für die Keimung der Samen.

4) Vgl. Max Schulz Journal f. prak. Chm. 1862. B. 87. S. 141.

trat nur dann ein, wenn nicht mehr als 5 Samenindividuen gleichzeitig zur Verwendung gelangten.

Aus den hier mitgetheilten Untersuchungen geht mit aller Bestimmtheit hervor, dass nothwendig Sauerstoff vorhanden sein muss, wenn überhaupt Keimung eintreten soll, und dass die Keimungsenergie der Samen entschieden in Beziehung zu der Sauerstoffquantität, mit der sich die Pflanzentheile in Berührung befinden, steht[1]).

Die gesammten sich bei der Keimung geltend machenden Vorgänge führen ja schliesslich die Entwickelung des Embryo herbei. Das Wachsthum desselben kann ohne Sauerstoffzutritt nicht erfolgen, sondern macht sich nur bei Gegenwart genügender Sauerstoffquantitäten geltend.

Wenn man Samen mit einer limitirten Luftmenge in Berührung bringt, so wird, falls die Samenquantität nicht zu gross, und die Luftmenge nicht zu klein ist, zunächst eine ganz normale Keimung erfolgen. Nach und nach aber muss sich das Wachsthum der Untersuchungsobjecte einstellen, denn der Sauerstoff wird allmählich völlig verzehrt und Kohlensäure tritt an seine Stelle[2]). Die Samen absorbiren den Sauerstoff bei der Keimung mit grosser Energie. Das Gas tritt mit den vorhandenen organischen Reservestoffen in Wechselwirkung und giebt den Anstoss zu complicirten chemischen Processen, die das Wachsthum der Keimtheile überhaupt erst ermöglichen. Die als Nebenproduct gebildete Kohlensäure wird sich je nach Umständen verschiedenartig verhalten. Befinden sich die keimenden Samen mit der freien Atmosphäre in unmittelbarer Berührung, so wird die in dem Wasser, welches die Samen aufgenommen haben, gelöste Kohlensäure ziemlich vollständig entweichen, da der partiäre Druck, unter dem sie steht, ein nur unbedeutender ist. Keimen die Samen aber in einem limitirten Raume, so dass die aus den Samen austretende Kohlensäure sich in der die Untersuchungsobjecte umgebenden Atmosphäre anhäufen kann, dann wird der Kohlensäuregehalt des Wassers, welches

---

1) Auf das Verhalten der keimenden Samen in reinem Sauerstoff kommen wir später zurück.

2) In reinster Form muss sich dies zeigen, wenn man die Untersuchungen bei Abschluss des Lichtes anstellt. Wenn den Pflanzen die Gelegenheit geboten wird, sich bis zu beträchtlicher Grösse zu entwickeln und zu ergrünen, so bleiben sie selbst in einem limitirten Luftraume, wenn sie nur dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt sind, längere Zeit erhalten. Die Ursachen, welche dies herbeiführen, liegen auf der Hand.

die Samen aufgesogen haben, ein beträchtlicherer sein. Uebrigens ist bei der Beurtheilung der hier in Rede stehenden Verhältnisse noch zu beachten, dass die Bewegung der Gase sich von der herrschenden Temperatur sowie von der Natur der Flüssigkeit, mit der dieselben in Berührung gelangen, abhängig erweist, und dass die gasförmige Kohlensäure vegetabilische Membranen verhältnissmässig schnell passirt [1]).

Was die Form anbelangt, in welcher der Sauerstoff bei der Keimung zersetzend auf organische Stoffe der Samen einwirkt, so hat Schönbein die Ansicht geäussert, dass derselbe als Ozon thätig sei [2]). Wenn man die Samen von Scorzonera hispanica (Schwarzwurzel), namentlich aber diejenigen von Cynara scolymus (Artischocke) bei Zutritt der Luft mit Wasser behandelt, so erhält man nach Schönbein eine Flüssigkeit, welche für sich allein die Guajaktinctur wie auch den angesäuerten Jodkaliumkleister sofort tief zu bläuen vermag. Dass das die Harzlösung oder den Kleister bläuende Ozon nicht von vornherein in den Samen selbst vorhanden ist, sondern aus der Luft stammt, geht mit Bestimmtheit daraus hervor, dass die Bläuung nicht eintritt, wenn man die Flüssigkeiten bei Ausschluss der Luft darstellt. Die meisten Samenextracte sind aber nach Schönbein, wenngleich sie bei Zutritt der Luft bereitet werden, nicht im Stande, die Guajaktinctur unmittelbar zu bläuen. Dennoch ist der genannte Forscher der Ansicht, dass ebenfalls diese Samen Substanzen enthalten, welche den gewöhnlichen Sauerstoff zu ozonisiren vermögen, und die directe Bläuung der Harzlösung soll nur deshalb nicht eintreten, weil Körper (z. B. Gerbsäuren) vorhanden sind, welche den activen Sauerstoff energischer als die Guajaktinctur zu binden vermögen. Die von Schönbein zur Rechtfertigung seiner Anschauung angeführten Argumente sind folgende:

Wenngleich die meisten wässerigen Samenauszüge die Guajaktinctur auch nicht unmittelbar zu bläuen vermögen, so geschieht dies doch stets, nachdem man etwas Wasserstoffsuperoxyd zuge-

---

1) Keimen Samen im Boden, so wird das Wasser, welches dieselben enthalten, kohlensäurereicher als dann sein, wenn die Keimung bei unmittelbarem Luftzutritt erfolgt. Diese Erscheinung erklärt sich, wenn wir uns daran erinnern, dass die Bodenluft weit reicher an Kohlensäure als die atmosphärische Luft ist. Man vgl. die Zusammenstellungen in meinen naturwissenschaftl. Grundlagen d. allgem. landwirthschaftl. Bodenkunde, 1876, S. 507.

2) Vgl. Schönbein, Journal f. prak. Chemie. 1868. B. 105. S. 214.

setzt hat. Das Wasserstoffsuperoxyd ist für sich nicht im Stande, die Guajaklösung zu färben; dies geschieht, wie Schönbein ausführlicher auseinandersetzt, nur dann, wenn Substanzen vorhanden sind, welche einen Theil des Sauerstoffs des Wasserstoffsuperoxyds ozonisiren. Eiweissartige Körper der Samenextracte sind nun nach der Ansicht des genannten Forschers diejenigen Verbindungen, welche die Ozonbildung herbeiführen. Findet aber eine solche unter den angegebenen Umständen statt, so ist es nach Schönbein ebenfalls sehr wahrscheinlich, dass der gewöhnliche atmosphärische Sauerstoff von gewissen Bestandtheilen der Samen in den activen Zustand versetzt werden kann (?), und die Thatsache, dass viele Samenauszüge die Guajaktinctur nicht direct färben, wird in der früher angedeuteten Weise erklärt werden müssen.

Bemerkenswerth ist noch, dass die Gegenwart kleiner Blausäurequantitäten die Wirkung der Samenextracte auf Wasserstoffsuperoxyd enthaltende Guajaktinctur verhindert; die Blausäure verhindert also die eiweissartigen Substanzen, auf das Wasserstoffsuperoxyd in der erwähnten Weise einzuwirken. Diese Thatsache bringt Schönbein mit der anderen in Zusammenhang, dass schon kleine Quantitäten von Blausäure das Keimen der Samen unmöglich machen.

Zwar darf wohl nach Schönbein mit Sicherheit angenommen werden, dass die Samen von Scorzonera und Cynara in Berührung mit Wasser und der Luft Ozon erzeugen; dagegen erscheint es gewiss zweifelhaft, ob alle Pflanzensamen im Stande sind, den gewöhnlichen Sauerstoff zu ozonisiren. Schönbein nimmt geradezu an, dass die normale Entwickelung des Embryo erst möglich wird, wenn eine Ozonbildung erfolgt ist, und dass deshalb diejenigen Mittel, welche die Ozonbildung verhindern (Blausäure), die Keimfähigkeit der Samen vernichten. Gegen diese Anschauungsweise lassen sich aber viele Bedenken geltend machen [1]), und es bleibt ferneren Forschungen vorbehalten, die hier berührten Verhältnisse eingehender zu verfolgen [2]).

---

1) Es ist übrigens sehr wohl möglich, dass die Gegenwart des Ozons die Keimung der Samen beschleunigt; aber damit ist keineswegs gesagt, dass das Ozon nothwendig vorhanden sein muss, wenn sich eine Entwickelung des Embryo geltend machen soll.

2) Die Angaben Lea's über den Einfluss des Ozons auf den Keimungsprocess (vgl. Jahresbericht für Agriculturchemie, 1864, S. 111) können wir übergehen, da keine bestimmten Resultate bei den Untersuchungen gewonnen worden sind.

Einen ganz besonders günstigen Einfluss soll auch nach verschiedenen Beobachtern der nascirende Sauerstoff auf den Verlauf der Keimung ausüben. Die ersten Untersuchungen über diesen Gegenstand sind von A. v. Humboldt ausgeführt worden[1]).

Humboldt legte Samen von Pisum sativum in eine verdünnte Lösung von „oxygenirter Kochsalzsäure“[2]), und er erstaunte nicht wenig, dass die Samen alsbald zu keimen begannen. Bei der Ausführung fernerer Versuche stellte Humboldt sich zunächst eine sehr verdünnte Salzsäure und ferner eine Lösung von „oxygenirter Kochsalzsäure“ dar, die so concentrirt war, dass sie einen „beängstigenden und unerträglichen Dampf“ ausgab. In beide Flüssigkeiten und zugleich in reines Wasser gelangten nun die Samen von Lepidium sativum. Die Beobachtungen wurden bei Lichtzutritt angestellt. Die sich mit der „oxygenirten Kochsalzsäure“ in Berührung befindenden Samen keimten bereits nach 6—7 Stunden; in reinem Wasser erfolgte die Keimung dagegen erst nach 36—38 Stunden. Humboldt hat den hier erwähnten Versuch oft wiederholt; stets gelangte er zu demselben Resultate. Er fand ebenfalls, dass die Keimungsenergie alter Samen gesteigert wird, wenn dieselben mit „oxygenirter Kochsalzsäure“ in Berührung gelangen.

Die Untersuchungen Humboldt's sind vielfach wiederholt worden, und während manche Beobachter zu Resultaten gelangten, die mit den von Humboldt gewonnenen durchaus übereinstimmen, haben sich andere von der günstigen Wirkung des Chlors auf den Keimungsprocess nicht überzeugen können.

Man ist a priori wohl berechtigt, dem Chlor eine Bedeutung in dem in Rede stehenden Sinne zuzuschreiben. Es ist bekannt, dass das Chlor eine sehr grosse Verwandtschaft zum Wasserstoff besitzt, und selbst im Stande ist, dem Wasser dieses Element unter gewissen Umständen (Lichtzutritt) zu entziehen. Bei diesem Vorgange der Wasserzersetzung wird, wie die folgende Gleichung zeigt, Sauerstoff frei:

$$H_2O + 2Cl = 2HCl + O.$$

Man kann sich nun sehr wohl vorstellen, dass der nascirende Sauerstoff besonders energisch oxydirend auf die Reservestoffe der Samen einwirkt, die Production von Kohlensäure und Wasser einerseits,

1) Vgl. A. v. Humboldt, Aphorismen. Deutsch von Fischer. 1794. S. 61.

2) Früher bezeichnete man das Chlor als oxygenirte Kochsalzsäure.

und die Entstehung solcher Substanzen, die in directer Weise das Material zur Zellstoffbildung liefern, andererseits steigert, und somit beschleunigend auf den Keimungsprocess einwirkt. Ferner ist es von vornherein wohl denkbar, dass der nascirende Sauerstoff die Fähigkeit besitzt, alte Samen, deren Keimungsenergie nur noch eine sehr geringe ist, zur schnelleren Entwickelung anzuregen. Uebrigens ist es möglich, dass nicht nur derjenige Sauerstoff, welcher bei der Zersetzung des Wassers durch das Chlor bei Lichtzutritt frei wird, einen günstigen Einfluss auf die Entwickelung des Embryo ausübt, sondern dass dasselbe geschieht, wenn das Chlor organische Substanzen zersetzt und auf diesem Wege Sauerstoff frei macht [1]). Erwägt man das hier Gesagte, so wird man zu der Ueberzeugung gelangen, dass ausgedehntere Untersuchungen über den Einfluss des Chlors auf den Keimungsprocess sicher eine Berechtigung in sich tragen, und es ist namentlich das Verdienst Nobbe's, neuerdings derartige Beobachtungen angestellt zu haben [2]).

Nobbe experimentirte zunächst mit verschiedenen Sorten älteren Weizens. Unter gewöhnlichen Umständen keimten dieselben nicht mehr. Je 50 Körner der Weizensorten wurden zunächst in Chlorwasser von verschiedener Concentration eingequollen und darauf in Fliesspapier der Keimprobe unterzogen. Als Quellungsmedium diente Wasser, welches theils mit Chlor gänzlich gesättigt war, theils aber, durch Vermischung der gesättigten Chlorlösung mit den entsprechenden Wasserquantitäten, zu $^1|_2$, $^1|_4$, $^1|_{10}$, $^1|_{100}$, und $^1|_{1000}$ seines Absorptionsvermögens für Chlor bei gewöhnlicher Temperatur gesättigt war. Von den mit Chlor behandelten alten Weizenfrüchten war selbst nach Verlauf eines Monats kein einziges Korn gekeimt. Der Inhalt der meisten Körner erwies sich als verfault, während die Oberfläche derselben mit Schimmelpilzen (Penicillium und Mucor) bedeckt war. Nur diejenigen Weizenkörner, welche sich mit der völlig und zur Hälfte gesättigten Chlor-

---

1) Man kann sich denken, dass das Chlor, indem es auf die Substanz der Samen selbst einwirkt und sich mit Wasserstoff verbindet, eine gewisse Sauerstoffmenge frei macht, welche den Verlauf der Keimung beschleunigt. Dies ist wenigstens eine Möglichkeit, die von vornherein nicht von der Hand gewiesen werden darf. Saussure (vgl. chem. Untersuchungen etc., S. 4) giebt an, dass das Chlor die Entwickelung des Embryo der Samen nach seinen Beobachtungen ebenfalls im Finstern befördert. Eine Wasserzersetzung durch das Chlor ist hier ausgeschlossen, da dieser Vorgang sich nur bei Lichtzutritt geltend macht.

2) Vgl. Nobbe, Handbuch der Samenkunde. S. 256.

lösung in Berührung befunden hatten, zeigten sich vollkommen frei von Schimmel und Fäulniss. Wurden die Weizenfrüchte in Gartenerde eingesäet und diese mit den Chlorlösungen begossen, so zeigte sich ebenfalls, dass kein Korn zur Entwickelung gelangte.

Zwei Sorten keimfähiger Weizenkörner (A und B) wurden 24 Stunden lang mit den Chlorlösungen in Berührung gebracht und in Fliesspapier der Keimprobe unterzogen. Einige Resultate der Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Es hatten im Mittel von je zwei Beobachtungen gekeimt nach dem Einquellen in	A.	B.
destillirtem Wasser	81 %	71 %
1/1000 Chlorlösung	88 „	63 „
1/100 „	83 „	55 „
1/10 „	70 „	51 „
1/4 „	27 „	23 „
1/2 „	1 „	3 „
1/1 „	0 „	0 „

Wenn die Untersuchungen in der Weise ausgeführt wurden, dass die Weizenfrüchte nach dem Einquellen in Wasser in Gartenerde gelangten, die sich in Töpfen von ca. 1000 Cc. Inhalt befand und mit 50 Cc. der Chlorlösungen übergossen wurde, so stellten sich die folgenden Ergebnisse heraus:

Sättigungsgrad des Chlorwassers.	Gekeimte Körner %. A.	B.
0 (destillirtes Wasser)	82	—
1/1000	81	56
1/100	—	58
1/10	86	72
1/4	78	68
1/2	72	32
1/1	73	22

Wenn wir die hier hervorgehobenen Angaben Nobbe's über den Einfluss des Chlors auf die Keimung des Weizens überblicken, so werden wir zu dem Schlusse gelangen müssen, dass das Chlor wenigstens bei der Ausführung der vorliegenden Untersuchungen von keiner nennenswerthen Bedeutung für die Entwickelung des Embryo gewesen ist. Noch deutlicher zeigt sich dies, wenn man die einzelnen von Nobbe für die Keimfähigkeit der Körner ermittelten Werthe, aus denen die Mittelzahlen abgeleitet sind, betrachtet, und wenn man Nobbe's Zusammenstellungen über die Keimungsenergie der Weizenkörner aufmerksam durchsieht. Nobbe

verwandte zu seinen Untersuchungen ebenfalls Samen von Pinus sylvestris und von Lepidium sativum, aber er erhielt wiederum Resultate, die den Angaben A. v. Humboldt's widersprechen.

Ein anderes Ergebniss tritt aber bei der Betrachtung der Arbeiten Nobbe's klar hervor. Es zeigt sich nämlich, dass eine Chlorlösung von irgendwie beträchtlicherer Concentration bereits nachtheilig auf den Keimungsprocess einwirkte, und dass die Untersuchungsobjecte, wie zu erwarten war, weit weniger litten, wenn sie nicht in einer Chlorlösung quollen, sondern im Boden ruhend mit einer solchen in Berührung gelangten.

Uebrigens muss bemerkt werden, dass durch Nobbe's eingehende Untersuchungen die Frage nach der Bedeutung des Chlors für den Keimungsprocess der Samen noch nicht zum Abschluss gebracht worden ist. Namentlich dürfte es erforderlich sein, die Beizversuche mit Chlor bei intensiver Beleuchtung zu wiederholen, denn A. v. Humboldt hebt besonders hervor, dass er seine Untersuchunsgobjecte dem directen Sonnenlicht ausgesetzt habe, während Nobbe die Weizenkörner etc. nach der Behandlung mit Chlor in Fliesspapier den Keimungsbedingungen aussetzte [1] [2].

Schliesslich wollen wir hier noch einen Blick auf die allerdings noch nicht endgültig entschiedene Frage werfen, ob der Sauerstoff, welcher in Verbindung mit Stickstoff im Stickstoffoxydulgase (N_2O) vorhanden ist, für die Zwecke der Athmung Verwendung finden kann.

Sachs [3]) hält es für möglich, dass das Stickstoffoxydul den Sauerstoff bis zu einem bestimmten Grade zu ersetzen im Stande ist, und nach einigen Beobachtungen von Borsczow soll die Ver-

---

1) Es sei hier noch erwähnt, dass das Chlor nach Göppert (vgl. Froriep's Notizen, B. 40, S. 33) und nach Heiden (vgl. dessen Dissertation: Ueber das Keimen der Gerste, 1859, S. 69) günstig auf die Entwickelung von Keimpflanzen einwirken soll. Als Ursache dieser günstigen Wirkung sehen diese Beobachter aber nicht die durch das Chlor bedingte Freiwerdung von Sauerstoff, sondern die Erzeugung von Chlorwasserstoffsäure an. Göppert giebt speciell an, dass Salzsäure den Keimungsprocess beschleunige. Andere Forscher erhielten durchaus negative Resultate. Man vgl. übrigens die Zusammenstellungen Nobbe's im Handbuche der Samenkunde. S. 265.

2) Die Resultate, welche bei der Untersuchung des Einflusses des Jods auf den Keimungsprocess erhalten worden sind, widersprechen einander sehr. Einige Forscher geben an, dass bereits das Vorhandensein sehr geringer Jodmengen nachtheilig auf die Entwickelung des Embryo einwirkt, während andere Beobachter zu entgegengesetzten Ergebnissen gelangt sein wollen.

3) Vgl. Sachs, Handbuch. S. 265.

muthung von Sachs in der That eine wohl begründete sein. Nach Cossa[1]) keimen hingegen weder Weizen- noch Maiskörner in einer aus reinem Stickstoffoxydul bestehenden Atmosphäre.

Neuerdings hat Rischawi der uns hier interessirenden Frage seine Aufmerksamkeit zugewandt[2]), und nach den Untersuchungen dieses Forschers soll der Sauerstoff des Stickstoffoxyduls das Vermögen besitzen, die Functionen des freien Sauerstoffs bei der Athmung zu übernehmen. Ist diese Anschauung eine richtige, so wird man zu der Schlussfolgerung geführt, dass den bei der Dissociation der Lebenseinheiten des Plasma entstehenden stickstofffreien Verbindungen die Fähigkeit zukommen muss, das Stickstoffoxydul zu zersetzen, und dass der in Freiheit gesetzte Sauerstoff nun in genau derselben Weise auf die organische Substanz wie der atmosphärische Sauerstoff unter gewöhnlichen Verhältnissen einwirkt.

Da sich bei der Bildung des Stickstoffoxyduls zwei Volumina Stickstoff und ein Volumen Sauerstoff zu zwei Volumina Stickstoffoxydul verdichten, so muss sich das Volumen des in einer Glasröhre mit Pflanzentheilen in Wechselwirkung gebrachten Gases, wenn dieselben in der That im Stande sind, das Stickstoffoxydul zu zersetzen, vergrössern. In der That bestätigte der Versuch diese Voraussetzung.

Leider sind aber die Resultate der Untersuchungen Rischawi's dennoch nicht von entscheidender Bedeutung für die Beantwortung der in Rede stehenden Frage, denn es ist möglich, dass das Stickstoffoxydul völlig unzersetzt blieb, und dass die beobachtete Volumenzunahme Folge innerer Athmung war[3]).

Drittes Capitel.

Die Aufnahme des Sauerstoffs und die Abgabe von Kohlensäure und Wasser bei der Keimung.

Der von den Samen bei der Keimung absorbirte Sauerstoff wird, wie bereits angeführt worden ist, dazu verwandt, gewisse Bestandtheile derselben zu oxydiren, Kohlensäure, Wasser und

---

1) Vgl. Cossa, Versuchsstationen. B. 18, S. 60.

2) Vgl. Rischawi: Botan. Jahresbericht. 5. Jahrgang. S. 722.

3) Die Originalabhandlung Rischawi's, welche in russischer Sprache geschrieben ist, steht mir leider nicht zur Disposition. In dem Referate vermisse ich namentlich Angaben darüber, ob die Pflanzentheile in Contact mit Stickstoffoxydulgas wuchsen.

andere Producte werden gebildet, und wenn wir berücksichtigen, dass bedeutende Kohlensäure- und Wasserquantitäten als Athmungsproducte abgeschieden werden, so müssen wir bereits zu der Annahme gelangen, dass die Samen bei der Keimung einen Verlust an Trockensubstanz erfahren. In der That ist durch alle bezüglichen Untersuchungen die Richtigkeit dieser Voraussetzung durchaus bestätigt worden [1]). Es wird weiter unten unsere specielle Aufgabe sein, die Untersuchungen zu besprechen, welche im Stande sind, uns genauen Aufschluss über die bei der Keimung verschwindenden absoluten Trockensubstanz-, Kohlenstoff- sowie Wasserstoffquantitäten etc. zu geben; zunächst aber handelt es sich für uns namentlich darum, festzustellen, welche Volumenveränderungen eine gegebene Menge atmosphärischer Luft, die sich mit keimenden Samen in Berührung befindet, in Folge des Athmungsprocesses der Untersuchungsobjecte erleidet. Dass es von Interesse ist, dies Verhältniss einem eingehenderen Studium zu unterziehen, liegt auf der Hand und wird gewiss nicht bestritten werden können.

Wenn man Samen im gequollenen Zustande in ein Gefäss bringt, und die Luft in demselben nunmehr mit Hülfe von Quecksilber von der äusseren Atmosphäre abschliesst, so wird die limitirte Gasmenge in Folge der Keimung entweder keine oder grössere, respect. geringere Volumenveränderungen erfahren [2]). Abgesehen von sonstigen Umständen wird, dies kann mit Sicherheit a priori behauptet werden, die chemische Natur der Bestandtheile der Samen, welche man bei der Ausführung der Untersuchungen in Anwendung bringt, von Einfluss auf den Verlauf des Athmungsprocesses sein müssen. Einige Erwägungen allgemeinerer Natur, die hier angestellt werden mögen, dürften dies noch deutlicher hervortreten lassen [3]).

---

1) Es existirt nur eine Angabe in der Literatur, wonach Keimungsproducte in einem gewissen Stadium der Entwickelung einen höheren Trockensubstanzgehalt als die ruhenden Samen besitzen sollen. Wir kommen weiter unten auf diese Angabe zurück.

2) Bei der Ausführung solcher Untersuchungen ist es selbstverständlich nothwendig, die vor und nach der Keimung abgelesenen Gasvolumina auf gleichen Barometerstand und gleiche Temperatur zu reduciren. Ueberhaupt liefern Untersuchungen, bei deren Ausführung Gasmessungen und Gasanalysen vorgenommen werden müssen, nur dann brauchbare Resultate, wenn man mit äusserster Sorgfalt experimentirt, und wenn man mancherlei Vorsichtsmassregeln, die hier nicht eingehender zu besprechen sind, in Anwendung bringt.

3) Vgl. auch Adolf Mayer, Lehrbuch der Agriculturchemie. 2. Aufl. B. I, S. 105.

1. Wird ein Körper, der die Zusammensetzung eines Kohlehydrats zeigt, in der Pflanze vollkommen verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs gleich der in der ausgehauchten Kohlensäure enthaltenen. Der Athmungsprocess findet ohne Volumenveränderung der umgebenden Atmosphäre statt, und der Gewichtsverlust der Pflanzen an Trockensubstanz ist grösser als das Gewicht des in der ausgehauchten Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoffs. Das Gewicht der verschwundenen Trockensubstanz muss dem Gewicht des in der ausgeathmeten Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoffs plus dem Gewicht des in Form von Wasser abgeschiedenen Wasserstoffs und Sauerstoffs gleich sein. Bei der vollständigen Verbrennung eines Kohlehydrats in der Pflanze findet also normale Athmung statt.

2. Wird ein höher oxydirter Körper (von der Zusammensetzung der Wein- oder Aepfelsäure) vollständig verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs kleiner, als die in der ausgehauchten Kohlensäure enthaltene. Der Athmungsprocess muss unter Volumenvermehrung der umgebenden Atmosphäre stattfinden, und der Gewichtsverlust der pflanzlichen Organe kann nicht völlig durch Kohlenstoff- und Wasserabgabe erklärt werden. Bei vollkommener Verbrennung eines höher oxydirten Körpers im vegetabilischen Organismus macht sich also normale Athmung neben innerer Athmung geltend.

3. Wird ein Fett vollkommen verbrannt, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs grösser, als die in der ausgehauchten Kohlensäure enthaltene. Das Volumen der umgebenden Atmosphäre muss also eine Verminderung erfahren. Der Gewichtsverlust des Pflanzentheils ist grösser als das Gewicht des in der abgeschiedenen Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoffs. Der Rest ist vorwiegend Wasserstoff und verhältnissmässig sehr gering. Bei vollkommener Verbrennung eines Fettes in der Pflanze findet normale Athmung statt.

4. Wird ein Kohlehydrat unvollständig verbrannt, d. h. zu einer dem Organismus verbleibenden organischen Verbindung oxydirt, so ist die aufgenommene Sauerstoffquantität von einer gewissen Grösse, die abgeschiedene Kohlensäuremenge kann aber gleich Null sein. Der Oxydationsprocess findet unter Volumenverminderung der umgebenden Atmosphäre statt. Man hat es mit einer reinen Sauerstoffabsorption zu thun, und die Pflanzentheile erfahren eine Gewichtszunahme. Bei unvollständiger Oxydation

eines Kohlehydrats in der angedeuteten Weise erfolgt also im vegetabilischen Organismus Vinculationsathmung.

5. Wird ein Fett unvollständig verbrannt, zu einem Kohlehydrat oder einer Pflanzensäure oxydirt, so erfolgt Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe.

6. Endlich können im vegetabilischen Organismus noch sogen. Dissociationsprocesse stattfinden. Machen sich solche geltend, so ist die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs gleich Null, die der ausgehauchten Kohlensäure oft von einer gewissen Grösse, so dass das Volumen der umgebenden Atmosphäre eine Zunahme erfährt. Es tritt eine Gewichtsverminderung des Organs ein. Vollziehen sich mit Kohlensäureentwickelung verbundene Dissociationsprocesse in der Pflanze, so kann sich nur innere Athmung geltend machen.

Die sechs aufgestellten Sätze können nur — dies muss mit besonderem Nachdruck betont werden — dazu dienen, uns Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Stoffwechsel- und Athmungsprocesse in der Pflanze zu bieten. Uebrigens muss vor der Anschauung, als machte sich im vegetabilischen Organismus zur Zeit stets nur einer jener Vorgänge geltend, durchaus gewarnt werden. Ein Same z. B. enthält, wie bekannt ist, sehr verschiedene organische Körper, und es liegt auf der Hand, dass diese einzelnen Substanzen bei der Keimung sämmtlich gleichzeitig chemischen Processen unterliegen können. Aber selbst dann, wenn wir allein die chemischen Veränderungen, die ein bestimmter Stoff in der Pflanze erleiden kann, ins Auge fassen, müssen wir zu der Ueberzeugung gelangen, dass die Processe nicht in der schematischen Einfachheit verlaufen, wie eine solche durch unsere sechs Sätze zum Ausdruck gelangt.

Bekanntermassen ist z. B. das Amylum stärkereicher Samen für die Entwickelung des Embryo bei der Keimung von grosser Bedeutung. Das Amylum liefert in erster Linie das Material zur Bildung der stickstofffreien organischen Bestandtheile der jungen Pflanze, aber eine beträchtliche Quantität der Substanz der Stärke wird gleichzeitig bei der Keimung oxydirt. Es würde nun eine durchaus oberflächliche Anschauung sein, wollte man meinen, dass bestimmte Moleküle des Amylum bei der Entwickelung des Embryo einfach in neue Verbindungen übergingen, während andere Moleküle eine vollkommene Oxydation zu Kohlensäure und Wasser erlitten. Ich gehe vielmehr von dem Grundgedanken aus,

dass Wachsthum (zunächst Bildung einer geeigneten Substanz, welche das Wachsthum ermöglicht) und Athmung nicht in einer rein äusserlichen Relation, sondern in sehr inniger Beziehung zu einander stehen müssen.

Auf Grund der bereits im dritten Hauptabschnitte über das Wesen des Athmungsprocesses entwickelten Anschauungen glaube ich, dass die Stärke als solche überhaupt nicht unmittelbar verathmet wird. Der atmosphärische Sauerstoff wirkt vielmehr auf die Substanz der sich dissociirenden Lebenseinheiten ein, und während dabei bestimmte Atome zur Kohlensäure, sowie zur Wasserproduction Verwendung finden, liefern andere dasjenige Material, welches unter geeigneten Umständen für die Zwecke des Wachsthums dient. Das in den Samen vorhandene Amylum vereinigt sich, nachdem es gewisse Metamorphosen erfahren hat, mit den stickstoffhaltigen Zersetzungsproducten der Lebenseinheiten und ermöglicht auf diese Weise den normalen Fortgang der Athmung, sowie des Wachsthums der Pflanzenzellen.

Wir können nunmehr dazu übergehen, zu untersuchen, welche Volumenveränderungen eine beschränkte Luftmenge in Folge des Keimungsprocesses factisch erfährt.

Saussure theilt bereits in seinen chemischen Untersuchungen über die Vegetation werthvolle Angaben über die Athmung keimender Samen mit[1]). Er experimentirte mit Erbsen, Bohnen, Gerste, Roggen, etc. Die Samen keimten bei Gegenwart möglichst geringer Wasserquantitäten[2]) unter mit atmosphärischer Luft angefüllten und durch Quecksilber abgesperrten Glasglocken. Eine merkliche Veränderung des Volumens der Luft trat nicht ein. Die Atmosphäre unter den Glocken war aber in Folge der Keimung reich an Kohlensäure geworden, und Saussure schliesst aus den Ergebnissen seiner Beobachtungen, dass der Sauerstoff der Luft bei der Keimung der Samen ausschliesslich zur Oxydation des Kohlenstoffs der letzteren verwandt werde[3]).

Weitere Untersuchungen sind im Jahre 1834 von Saussure

---

1) Vgl. Saussure: Chem. Untersuchungen etc. Deutsch v. Voigt. S. 81.

2) Die Benutzung geringer Wassermengen war selbstverständlich nothwendig, denn bei Gegenwart grösserer Flüssigkeitsquantitäten würde ein beträchtlicher Theil der producirten Kohlensäure von diesen absorbirt worden sein.

3) Es ist nothwendig, sich daran zu erinnern, dass das Volumen einer gewissen Kohlensäuremenge gleich dem Volumen des Sauerstoffs ist, der zur Bildung dieser Kohlensäurequantität gedient hat.

über den Athmungsprocess keimender Samen mitgetheilt worden [1]). Die Untersuchungsobjecte gelangten zunächst zur Quellung in Wasser, und sie wurden dann im gequollenen Zustande — ohne ihnen weitere Wasserquantitäten zur Disposition zu stellen — in einen durch Quecksilber absperrbaren und mit atmosphärischer Luft angefüllten Recipienten gebracht [2]). Die Resultate einiger Beobachtungsreihen mögen hier mitgetheilt werden.

24 in Wasser aufgequollene Weizenkörner, im trockenen Zustande 1 Grm. wiegend, wurden 21 Stunden lang in einem verschlossenen Gefäss der Luft ausgesetzt. Nach Verlauf von 17 Stunden fingen die Körner an zu keimen.

Die Atmosphäre enthielt:

Vor dem Versuch.		Nach dem Versuch.	
Stickstoff	148.84 Cc.	Stickstoff	148.32 Cc.
Sauerstoff	39.86 „	Sauerstoff	37.44 „
		Kohlensäure	2.47 „
	188.70 Cc.		188.23 Cc.

Drei Samen von Phaseolus vulgaris, die im trockenen Zustande 1 Grm. wogen, gelangten nach dem Einquellen in einen mit Luft angefüllten Recipienten. Der Versuch dauerte 48 Stunden, und die Samen trieben in dieser Zeit Würzelchen von 5—9 Mm. Länge.

Die Atmosphäre enthielt:

Vor der Keimung.		Nach der Keimung.	
Stickstoff	151.41 Cc.	Stickstoff	150.44 Cc.
Sauerstoff	40.24 „	Sauerstoff	31.26 „
		Kohlensäure	9.53 „
	191.65 Cc.		191.23 Cc.

Aus den Resultaten seiner früheren Untersuchungen hatte Saussure den Schluss gezogen, dass bei der Keimung der Samen eine Kohlensäuremenge ausgehaucht werde, deren Volumen gleich dem Volumen der absorbirten Sauerstoffquantität sei. Die Ergebnisse seiner hier zuletzt angeführten Beobachtungen veranlassten den genannten Forscher, eine andere Ansicht auszusprechen. Die Samen sollen sich nämlich hinsichtlich der Sauerstoffquantität, welche sie absorbiren, und der Kohlensäuremenge, die sie aus-

1) Vgl. Saussure, Journal f. prakt. Chemie. 1834. Bd. 3, S. 123.

2) Die Samen ruhten unter dem Recipienten auf Platinspiralen, oder sie wurden einfach an die Wandungen des Recipienten angeklebt. Saussure vergass nicht, was betont werden muss, die Temperatur- und Druckverhältnisse der Luft bei der Ausführung seiner Untersuchungen zu berücksichtigen.

athmen, sehr verschiedenartig verhalten. Bei einigen Samen (Weizen) wird ein dem absorbirten Sauerstoffvolumen gleiches Kohlensäurevolumen ausgehaucht. Bei anderen Samen (Phaseolus) wird mehr Kohensäure ausgeathmet als Sauerstoff absorbirt wird. Endlich existiren Samen (Vicia Faba), welche mehr Sauerstoff einathmen als sie Kohlensäure abgeben. Die amylumreichen Samen, mit denen Saussure experimentirte, hauchen aber, dies kann bereits hier hervorgehoben werden, stets eine Kohlensäurequantität aus, deren Volumen annähernd gleich ist dem Volumen der inspirirten Sauerstoffquantität [1]). Uebrigens soll das Verhältniss zwischen dem aufgenommenen Sauerstoff und der abgeschiedenen Kohlensäure selbst bei einem und demselben Samen im Verlaufe der Keimung Schwankungen erleiden. Samen von Lupinus albus absorbirten z. B. bei Beginn der Keimung eine Sauerstoffmenge, die geringer (stets dem Volumen nach) war, als die ausgeathmete Kohlensäurequantität; bei weiterer Entwickelung des Embryo kehrte sich das Verhältniss zwischen dem aufgenommenen Sauerstoffvolumen und dem ausgehauchten Kohlensäurevolumen um [2]).

Von besonderem Werth sind endlich Angaben von Saussure über den Verlauf der Athmung bei der Keimung fettreicher Samen [3]). 1 Grm. der Untersuchungsobjecte wurde, nachdem die Samen 24 Stunden lang gequollen hatten, an die innere befeuchtete Wand der Kugel einer Retorte, welche etwa 250 Cc. Luft enthielt, geklebt. Die Untersuchungen wurden nun weiter in ganz derselben Weise, wie wir dies bereits gesehen haben, ausgeführt und lieferten die folgenden Resultate:

Hanf trieb in 43 Stunden bei 22° C. Wurzeln von 16 Mm. Länge.
Aufgenommene Sauerstoffmenge = 19.7 Cc.
Ausgehauchte Kohlensäuremenge = 13.26 „

Raps trieb in 42 Stunden bei 21.5° C. Wurzeln von 10 Mm. Länge.
Aufgenommene Sauerstoffmenge = 31.4 Cc.
Ausgehauchte Kohlensäuremenge = 24.39 „

Madia trieb in 72 Stunden bei 13° C. Wurzeln von 10 Mm. Länge.
Aufgenommene Sauerstoffmenge = 15.83 Cc.
Ausgehauchte Kohlensäuremenge = 11.94 „

---

1) Wir kommen auf das hier berührte wichtige Verhältniss noch mehrfach zurück.

2) Saussure fand auch bereits, dass bei Beginn der Keimung in der Zeiteinheit weniger Kohlensäure ausgehaucht wird als später.

3) Vgl. Saussure, Froriep's Notizen. 1842. B. 24, Nr. 16, S. 243.

Wenn wir die gesammten Untersuchungen Saussure's überblicken, so müssen wir unbedingt zu dem Resultate gelangen, dass durch dieselben vor allen Dingen zwei für die Theorie der Athmung fundamentale Bedeutung besitzende Thatsachen festgestellt worden sind. Erstens hat sich nämlich ergeben, dass das Volumen einer gewissen Luftmenge, die sich mit keimenden stärkereichen Samen in Berührung befindet, keine oder nur unbedeutende Veränderungen erfährt, während das Volumen der Luft in Folge des Keimungsprocesses fettreicher Samen eine beträchtliche Verminderung erfährt. Zweitens aber müssen wir zu dem Schlusse gelangen, dass bei der Keimung amylumreicher Samen eine Sauerstoffmenge inspirirt wird, deren Volumen dem Volumen der producirten Kohlensäure gleich oder nahezu gleich ist, wohingegen die fettreichen Samen ein Sauerstoffvolumen einathmen, welches weit grösser ist als das Volumen der abgeschiedenen Kohlensäurequantität. Erst später wird die grosse Bedeutung dieser Thatsache in ein helles Licht treten; hier möge es genügen, sie constatirt zu haben.

Es existiren allerdings noch verschiedene Untersuchungen, in welchen wir Angaben über die Veränderungen eines beschränkten Luftvolumen in Folge des Keimungsprocesses vorfinden. Theils aber besitzen die bezüglichen Beobachtungen einen nur ausserordentlich geringen Werth, so dass es nicht nothwendig ist, dieselben hier zu berücksichtigen, theils erscheint es zweckmässig, erst an einer anderen Stelle dieses Buches auf jene Angaben hinzudeuten. Nur auf die Resultate einiger neueren Untersuchungen soll hier noch kurz hingewiesen werden.

Débérain und Landrin[1]) liessen Samen unter einer mit Hülfe von Quecksilber abgesperrten Glasglocke keimen, und sie fanden, dass das Volumen der vorhandenen Luft zunächst eine geringe Verminderung erfuhr. Wurden die Versuche lange Zeit fortgeführt, so dass der Sauerstoff der Luft fast vollkommen verschwand, so vergrösserte sich das Volumen des Gasgemisches unter der Glocke mehr und mehr.

Die genannten Beobachter constatirten ebenso wie Saussure, dass amylumreiche Samen während der ersten Keimungsstadien eine Kohlensäurequantität ausgeben, deren Volumen demjenigen des inspirirten Sauerstoffs annähernd gleich ist. Später macht sich dann aber bei Sauerstoffsmangel eine lebhafte Kohlensäureproduction in Folge innerer Athmung geltend, und dieser Umstand veranlasst die Vergrösserung des Volumen der Gase unter der Glocke.

1) Vgl. Débérain und Landrin, Comptes rendus. T. 78, p. 1488.

Borodin[1]) hat die Richtigkeit der Angabe von Débérain und Landrin, dass Keimpflanzen das Volumen einer beschränkten Luftmenge erst nach dem Verschwinden des Sauerstoffs vergrössern, bestätigen können[2]). Die energische Kohlensäureentwickelung bei mangelndem Sauerstoff beansprucht lebhaftes Interesse, zumal auch deshalb, weil, wie Borodin besonders hervorhebt, die Keimpflanzen unter den abnormen Verhältnissen — natürlich vorausgesetzt, dass dieselben nicht zu lange auf die Untersuchungsobjecte einwirken — nicht zu Grunde gehen. Es hört selbstredend in der sauerstofffreien Atmosphäre jedes Wachsthum auf, aber wenn die Pflanzen aufs Neue mit sauerstoffhaltiger Luft in Berührung gelangen, so macht sich dasselbe wieder geltend. Man kann übrigens auch schon von Anfang der Keimung an eine Volumenzunahme der beschränkten Luftmenge erhalten, indem man die Samen in eine Wasserstoff- oder Kohlensäureatmosphäre bringt. Es wird hierbei auf Kosten der Substanz der Samen Kohlensäure gebildet, und sowohl der erforderliche Kohlenstoff als auch der Sauerstoff entstammen der Substanz der Untersuchungsobjecte selbst. Die Gesammtmenge der durch innere Athmung erzeugten Kohlensäure ist etwas

---

1) Vgl. das Referat der Arbeit Borodin's in dem botanischen Jahresbericht für 1875. S. 880.

2) Borodin hat auch constatiren können, dass selbst stärkereiche Samen das Luftvolumen, mit dem sie sich in Contact befinden, zu Beginn der Keimung etwas verringern, natürlich bei weitem nicht in dem Grade, wie ölreiche Samen. Dass selbst amylumreiche Samen die erwähnte Erscheinung hervorrufen, darf uns nicht wundern. Wenn nämlich mit Beginn der Keimung die Kohlensäureentwickelung zur Geltung kommt, so wird die Atmosphäre über den Samen fortdauernd reicher an diesem Körper. Das vorhandene Quellwasser absorbirt, weil der partiäre Druck, unter welchem die Kohlensäure steht, ein immer grösserer wird, beträchtlichere Kohlensäuremengen, und es muss das Volumen der beschränkten Luftmenge in Folge dessen abnehmen. In der That hat Débérain (vgl. Compt. rend., T. 81, p. 198) gefunden, dass die Gasmenge, welche Keimpflanzen enthalten, reich an Kohlensäure ist. Er brachte Samen und Keimungsproducte von Bohnen in kochendes Wasser unter die Luftpumpe, und die Bestimmung der in 100 Grm. Bohnen enthaltenen Gase ergab:

	Gesammtvolumen.	O.	CO_2.	N.
Vor der Keimung	32.1 Cc.	7.2	0.9	24.0
Nach 3 Keimungstagen	52.0 „	5.1	17.8	29.1
„ 4 „	54.6 „	5.6	10.1	38.9
„ 6 „	62.5 „	0.6	54.0	7.9

Ueberdies ist zu bemerken, dass ja manche stärkereiche Samen, z. B. Maissamen, ziemlich viel Fett enthalten, und dass dies Fett Sauerstoff chemisch binden kann, so dass das Volumen der beschränkten Luftmenge, mit der sich die Samen in Berührung befinden, ebenfalls auf diese Weise eine Verminderung erfahren kann.

geringer als diejenige, welche bei Gegenwart von Sauerstoff in Folge normaler Athmung erzeugt wird. In einer Kohlensäureatmosphäre ist sie etwas geringer als in einer Atmosphäre von Wasserstoff.

Die hier berührten Erscheinungen der inneren Athmung der Pflanzenzellen, sowie einige andere damit im genauesten Zusammenhange stehende Verhältnisse, sind für die Physiologie des Athmungsprocesses von ausserordentlicher Bedeutung geworden. Bevor wir jedoch in eine nähere Discussion der bezüglichen Fragen eintreten, müssen wir noch auf die Resultate einer interessanten kürzlich von Wortmann publicirten Arbeit eingehen [1]).

Derselbe constatirte zunächst aufs Neue, dass die Lebensfähigkeit von Pflanzentheilen, wenn dieselben nicht zu lange Zeit in einem sauerstofffreien Medium verweilen, keineswegs vernichtet wird. Allerdings erfolgt bei Abwesenheit von Sauerstoff durchaus kein Wachsthum, aber dieser Process beginnt wieder, wenn man die Pflanzen nach einiger Zeit mit atmosphärischer Luft in Berührung bringt. Ebenso fand Wortmann, dass durch Eintauchen in heisses Wasser von 75° R. getödtete Pflanzentheile in einem sauerstofffreien Medium keine Kohlensäure in Folge innerer Athmung erzeugen [2]); nur die lebende Pflanzenzelle ist dazu im Stande.

Besonders eingehend behandelte Wortmann die Frage nach der Grösse der in Folge innerer Athmung producirten Kohlensäuremenge im Vergleich zu derjenigen, welche durch normale Athmung producirt wird.

Wenn man eine Anzahl Samen, Stengel, Wurzeln oder Früchte etc. in gewöhnlicher atmosphärischer Luft athmen lässt, eine andere Anzahl aber bei Abschluss des Sauerstoffs eine gleich lange Zeit, etwa 24 oder 48 Stunden, sich überlässt, so beobachtet man, dass die Pflanzentheile im ersteren Falle ein grösseres Kohlensäurevolumen producirt haben. Vergleicht man aber die nach kurzen Zeiten von den Untersuchungsobjecten ausgeschiedenen Kohlensäurequantitäten mit einander, so zeigt sich, dass das in Folge innerer Athmung erzeugte Kohlensäurevolumen dem in Folge normaler Athmung producirten gleich ist.

---

1) Vgl. Wortmann: Ueber die Beziehungen der intramolekularen zur normalen Athmung der Pflanzen. Inaugural-Dissert. Würzburg 1879.

2) Von besonderer Wichtigkeit ist es natürlich für das Gelingen der bezüglichen Versuche, die Bacterien von den Pflanzentheilen abzuhalten.

Auf die Methode, deren Wortmann sich bei der Ausführung seiner Untersuchungen bediente, brauche ich hier nicht weiter einzugehen. Nur dies sei bemerkt, dass die Keimpflanzen von Vicia Faba, welche als Untersuchungsobjecte verwendet wurden, entweder mit gewöhnlicher Luft über Quecksilber in Berührung gelangten, oder, wenn es sich um die Bestimmung der durch innere Athmung producirten Kohlensäuremenge handelte, in die Torricellische Leere eines barometerartigen Apparats gebracht wurden.

Die Resultate einiger Versuche Wortmann's, bezogen auf 1 Grm. Samensubstanz und die Dauer einer Stunde, sind folgende:

Nr. d. Versuchs	Producirte Kohlensäuremenge in Ccm. durch normale Athmung	innere Athmung.
1	0.130	0.110
2	0.089	0.079
3	0.092	0.100
4	0.096	0.093

Man sieht, dass die Werthe, welche die von 1 Grm. Samen in einer Stunde ausgeschiedene Kohlensäuremenge angeben, stets fast genau dieselbe Grösse besitzen. Die geringen Differenzen erklären sich unter Berücksichtigung des Umstandes, dass bei der inneren Athmung schon bei einer Versuchsdauer von 5—7 Stunden (denn die Versuche über die innere Athmung wurden über 5 oder 7 Stunden ausgedehnt) die erzeugten Kohlensäuremengen nach und nach geringer werden.

Den Keimpflanzen analog verhielten sich auch die Blüthenköpfe von Doronicum caucasicum, sowie die Stengeltheile von Paeonia peregrina, d. h. die Kohlensäuremengen, welche in Folge normaler und innerer Athmung producirt wurden, waren fast genau dieselben[1]).

Wenn ich nunmehr dazu übergehe, die Bedeutung derjenigen Erscheinungen, welche man bei dem Studium der inneren Athmung constatirt hat, und speciell die Beziehungen zwischen der inneren und der normalen Athmung näher zu charakterisiren, so ist vor allen Dingen auf die bereits vor mehreren Jahren von Lechartier und Bellamy[2]) festgestellte Thatsache hinzuweisen, dass Theile höherer Pflanzen bei Sauerstoffabschluss nicht nur Kohlensäure, sondern ebenso, und zwar ohne Mitwirkung von Hefezellen, Alkohol erzeugen. Die Richtigkeit dieser Angaben ist von

1) Vgl. S. 18 der Abhandlung Wortmann's.

2) Vgl. Lechartier und Bellamy, Comptes rendus. 1869, T. 69, p. 466 1872, T. 75, p. 1203 und 1874, T. 79, p. 1008.

Brefeld[1]) vollkommen bestätigt worden. Derselbe stellte fest, dass höhere Pilze, sowie Blätter, Blüthen, Früchte und Keimpflanzen höher organisirter Gewächse etc. in sauerstofffreien Medien ganz ähnliche Producte erzeugen, wie solche in Folge der gewöhnlichen Gährung entstehen. Bei der Ausführung derjenigen Versuche, welche für uns ein besonderes Interesse besitzen, wandte Brefeld Keimpflanzen des Weizens, der Gerste und der Erbse an.

Die Pflanzen entwickelten bei Abschluss des freien Sauerstoffs ganz erhebliche Kohlensäuremengen. Beim Weizen, sowie der Gerste dauerte die Gasentwickelung 5—6 Wochen lang fort; das Volumen des producirten Gases war 7—8 mal grösser als dasjenige der benutzten Früchte. Die gebildete Alkoholmenge, auf das Trockengewicht der Früchte berechnet, betrug 2—3 %. Bei den mit Erbsenkeimlingen durchgeführten Untersuchungen ging die Kohlensäureentwickelung drei Monate lang fort; die erzeugte Alkoholmenge betrug 5 % der Trockensubstanz der benutzten Samen. Der gebildete Alkohol war in allen Fällen sehr fuselig. Nach Abschluss der Versuche enthielten die Keimpflanzen nicht unerhebliche Säuremengen; ihre Weiterentwickelung war jetzt unmöglich geworden.

Werden höher organisirte Pflanzen oder einzelne Theile derselben dem Einfluss des freien Sauerstoffs entzogen, und rufen sie unter diesen Umständen Kohlensäure-, sowie Alkoholbildung hervor, so geht damit niemals ein Wachsthumsprocess Hand in Hand. Nichts desto weniger muss mit Nachdruck betont werden, dass die Pflanzenzellen, wenn sie überhaupt Gährungserscheinungen zeigen sollen, nicht bereits abgestorben sein dürfen. Die todte Pflanzenzelle vermag keinen Alkohol mehr zu bilden; dazu ist nur diejenige im Stande, welche noch lebendig ist, aber allerdings bereits im Zustande des Absterbens begriffen sein kann. Brefeld tödtete z. B. die Zellen von Weinbeeren durch höhere Temperatur oder durch Zerquetschen der Untersuchungsobjecte. Dieselben zeigten im sauerstofffreien Raum die Erscheinungen der alkoholischen Gährung durchaus nicht mehr, während die unversehrten Weinbeeren unter den bezeichneten Umständen sehr bald Alkohol bildeten.

Das Verhalten der Zellen höherer Pflanzen bei Sauerstoffabschluss ist also in mancher Beziehung dem Verhalten des gewöhnlichen sich mit Traubenzuckerlösung in Contact befindenden Hefepilzes (Sacharomyces cerevisiae) ganz analog. Aber es muss be-

---

1) Vgl. Brefeld: Landwirthschl. Jahrbücher. 1876. B. 5, S. 328.

tont werden, dass, während die Zellen höherer Gewächse unter den erwähnten Verhältnissen nicht wachsen und sich nicht vermehren können, die Hefezellen diese Fähigkeit besitzen.

Pasteur, der so sehr viel zur Erforschung der Gährungserscheinungen beigetragen, hat festgestellt, dass die Hefezelle auch ohne freien Sauerstoff zu wachsen im Stande ist und gleichzeitig Gährung erregt. Der genannte Forscher war ferner ursprünglich der Ansicht, dass die Gährung durchaus abhängig vom Wachsthum der Hefezellen sei, und dass sich also mit dem Erlöschen des Wachsthums auch die Gährung einstelle[1])[2]). Diese letztere Ansicht beruht, wie zuerst von Liebig[3]) hervorgehoben worden ist, auf einem Irrthum. Die Hefezellen können, ohne im mindesten zu wachsen, Gährungserscheinungen hervorrufen, und die neueren Untersuchungen Brefeld's[4]) haben nicht wenig dazu beigetragen, diesen wichtigen Satz sicher zu stellen.

Der genannte Forscher constatirte, dass die Hefezellen in Berührung mit sehr viel Sauerstoff keine Gährung erregen, wohl aber lebhaft wachsen[5]). Wenn die Sauerstoffzufuhr etwas schwächer wird, nach gewöhnlichen Begriffen aber noch immer sehr erheblich ist, so beginnt die Gährung, und in dem Masse, als die Sauerstoffzufuhr sinkt, wird die Energie der Gährung gesteigert, während die Wachsthumsintensität der Hefezellen abnimmt[6]). Bei völligem Ausschluss des freien Sauerstoffs, der allerdings nur unter Anwendung der raffinirtesten Vorsichtsmassregeln zu erreichen ist, wachsen die Hefezellen noch und erzeugen dabei, wie Brefeld zeigte, Alkohol, sowie Kohlensäure[7]). Haben die Pilzzellen aber

1) Genaueres vgl. man in den Comptes rendus vom Jahre 1861 und 1863.

2) Auch Spaltpilze (Bacterien) können nach Pasteur ohne die Gegenwart des freien Sauerstoffs wachsen.

3) Vgl. Liebig, Ueber Gährung, über Quelle der Muskelkraft und Ernährung. 1870. S. 4.

4) Vgl. Brefeld: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 5, S. 281.

5) Vgl. Brefeld: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 13, S. 96. Es ist zu bemerken, dass gewisse Beobachtungen, welche C. Nägeli in seinem in vieler Beziehung sehr bedeutenden Werke: „Theorie der Gährung", München 1879, S. 25. mittheilt, nicht mit Brefeld's Angaben in Einklang stehen. Nägeli's Anschauungen gegenüber lassen sich aber mancherlei Bedenken geltend machen, während die hier speciell berührten Untersuchungen Brefeld's mir durchaus beweisend erscheinen.

6) Auf diese succesive Veränderung im Verhalten der Hefezellen ist zumal von A. Mayer (Beiträge zur Lehre über den Sauerstoffbedarf und die gährungserregende Fähigkeit der Hefezelle, Heidelberg 1876, S. 21) aufmerksam gemacht worden.

7) Brefeld hatte früher die Ansicht vertreten, dass die Hefe bei Sauerstoff-

längere Zeit in dem sauerstofffreien Medium verweilt, so erlischt das Wachsthum gänzlich; die Gährung schreitet aber noch ziemlich lange fort. Den Zellen von Sacharomyces cerevisiae ganz ähnlich, verhalten sich diejenigen von Mucor racemosus in Contact mit einer Traubenzuckerlösung. Dieser Pilz wächst wie die Hefe ohne freien Sauerstoff; aber Gährung, sowie Wachsthum des Mucor sind nicht so intensiv wie bei Sacharomyces und stehen zeitiger als wie bei diesem letzteren Pilze still[1]).

Verschiedene andere Species des Genus Mucor (M. mucedo und M. stolonifer) können selbst in einer Zuckerlösung noch so lebhaft wachsen, dass sie den vorhandenen Sauerstoff völlig verzehren. Es tritt dann Gährung ein, aber dieser Process verläuft nicht mehr, wie bei der Hefe und Mucor racemosus, Hand in Hand mit Wachsthumserscheinungen der Pilzzellen. Endlich ist das Wachsthum anderer Pilze (Penicillium glaucum etc.) in Zuckerlösungen nur noch so unerheblich, dass es besonderer Massnahmen bedarf, um den freien Sauerstoff völlig aus den Flüssigkeiten zu entfernen und damit die Gährung einzuleiten.

Man ersieht also aus den vorstehenden Andeutungen, dass das Vermögen der Pflanzenzellen, Gährung zu erregen, graduell ein sehr verschiedenartiges ist, und dass denjenigen Zellen, welche im Stande sind, selbst bei sehr beschränktem Luftzutritt, oder gar bei gänzlichem Sauerstoffmangel zu wachsen, diese Fähigkeit in besonders hohem Masse zukommt. Die Zellen von Sacharomyces cerenisiae rufen die Gährungserscheinungen ungemein leicht hervor, ja sie vermögen sogar in recht sauerstoffreichen Zuckerlösungen Alkohol zu bilden. Die gährungserregende Fähigkeit der Zellen von Mucor racemosus ist schon geringer als diejenige der Hefezellen. Nun folgen in absteigender Reihe Mucor Mucedo, Mucor stolonifer, Penicillium glaucum, Oidium lactis und schliesslich die Zellen der höheren Pilze wie auch diejenigen der höher organisirten Gewächse überhaupt. Dieselben sind zwar sämmtlich im Stande, Alkohol zu bilden, aber es muss, um das Phänomen

---

abschluss nicht zu wachsen im Stande sei, wohl aber unter diesen Umständen Gährung erregen könne. Vgl. Landwirthschl. Jahrbücher, B. 3, S. 65. Diese Ansicht liess Brefeld (vgl. Landwirthschl. Jahrbücher, B. 5, S. 281) später fallen, nachdem sie aufs Neue von Pasteur (vgl. Comptes rendus, T. 80, p. 452) bekämpft worden war.

1) Vgl. hierüber und über das Folgende Brefeld: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 5, S. 319.

der Gährung hervorzurufen, künstlich für vollkommenen Sauerstoffabschluss gesorgt werden.

Als die für uns wichtigste der im Vorstehenden zur Kenntniss gebrachten Thatsachen ist ohne Zweifel diese zu betrachten, dass nicht nur Hefezellen, nicht nur Pilzzellen überhaupt, sondern dass jede Pflanzenzelle unter bestimmten Umständen (bei Sauerstoffabschluss) Gährung erregen kann. Es muss nun sofort die Frage auftauchen, in welcher Relation dieser mit innerer Athmung verbundene Process zu der Erscheinung der bei Sauerstoffgegenwart sich geltend machenden normalen Athmung steht, und hiermit ist auf den Kern eines Problems hingewiesen, das in unseren Tagen zu lebhaften Discussionen unter den Pflanzenphysiologen Veranlassung gegeben hat.

Brefeld stellt bei allen seinen Betrachtungen über Pflanzenathmung den Process der normalen Athmung in den Vordergrund, und selbst die Athmungserscheinungen, welche der Hefepilz bei Sauerstoffabschluss unterhält, sollen nach der Ansicht des genannten Forschers nur eine eigenthümlich modificirte Form normaler Athmung repräsentiren [1]).

Wenn Hefezellen in Zuckerlösung bei Sauerstoffausschluss Gährung erregen und gleichzeitig wachsen, so verlaufen nach Brefeld zwei ganz verschiedene Processe neben einander in der Flüssigkeit. Es soll nämlich unter den angedeuteten Umständen in den Pflanzenzellen ein Stoff erzeugt werden, der eine sehr lebhafte Anziehungskraft auf den im Zucker vorhandenen Sauerstoff ausübt und der in Folge dessen eine Reduction des Zuckers unter Alkoholbildung hervorruft. Der auf diesem Wege gewonnene Sauerstoff dient nun in ganz analoger Weise, wie unter anderen Umständen der freie atmosphärische Sauerstoff zur Oxydation organischer Substanzen. Der durch Reductionsprocesse dem Zucker entrissene Sauerstoff wird nämlich in dem speciell in Rede stehenden Falle zur Oxydation fernerer Zuckermengen verwandt, und es werden dadurch neben Kohlensäure nicht nur die für das Wachsthum der Hefezellen erforderlichen Stoffe, sondern ebenso die für den Fortgang der Gährung, namentlich die für den bezeichneten Reductionsprocess nothwendigen Betriebskräfte gewonnen. Nach Brefeld wird das Wachsthum von Pflanzenzellen bei Mangel des freien atmosphärischen Sauerstoffs also durch einen Vorgang ermöglicht, der in der That die grösste Aehnlichkeit mit dem Pro-

1) Vgl. Brefeld: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5. S. 299.

cesse der gewöhnlichen normalen Athmung besitzt, ja sogar principiell in keiner Weise von demselben verschieden erscheint.

Diesen Anschauungen Brefeld's stehen andere, kürzlich von Pfeffer[1]) geltend gemachte gegenüber. Dieser geht vor allen Dingen von der Voraussetzung aus, dass die Hefezellen den Zucker bei Abschluss des freien Sauerstoffs unmittelbar im Alkohol, Kohlensäure etc. spalten, und dass durch diese molekulare Umlagerung sowohl die für das Wachsthum erforderlichen Stoffe, als auch die nothwendigen Betriebskräfte unmittelbar gewonnen werden können. Pfeffer meint aber ferner, dass jeder normalen Athmung bei unbehindertem Sauerstoffzutritt in jeder Pflanzenzelle ein ähnlicher Spaltungsprocess, wie er sich in gährenden Flüssigkeiten bei Sauerstoffabschluss geltend macht, vorangehen müsse. Bei Luftzutritt geht die Dissociation der stickstofffreien Verbindungen allerdings nicht bis zur Bildung von Alkohol und Kohlensäure etc. fort, sondern die intermediären Producte werden durch den freien Sauerstoff theilweise vollkommen verbrannt. Jene Spaltungsprocesse repräsentiren aber doch unter allen Umständen, sowohl bei Abschluss als auch bei Zutritt des Sauerstoffs, die primären Vorgänge, und ermöglichen das Zustandekommen normaler Athmung bei Sauerstoffzutritt überhaupt erst.

Wortmann, der, wie wir gesehen haben, die wichtige Thatsache sicher stellte, dass Pflanzenzellen sowohl bei Abschluss als auch bei Zutritt des freien Sauerstoffs, wenn sie sich nur im durchaus lebenskräftigen Zustande befinden, gleich grosse Kohlensäurequantitäten erzeugen, geht von der Anschauung aus, dass nicht, wie Brefeld und Pfeffer annehmen, die von vornherein in den Pflanzen vorhandenen Kohlehydrate das Material für den Athmungsprocess liefern, sondern dass die Eiweissstoffe des lebenden Plasma zunächst zerfallen, und dass der auf diesem Wege gebildete Zucker dann verathmet werde[2]). Der Zucker soll in Alkohol und Kohlensäure zerfallen. „Durch den in den Geweben der Pflanzen sich aufhaltenden Sauerstoff werden jetzt diese Alkoholmoleküle in statu nascendi oxydirt, aber nicht in dem Verhältnisse, dass Kohlensäure und Wasser entstehen, sondern die Sauerstoffatome addiren sich in dem Masse zu den Alkoholmolekülen, dass dadurch Isomere der Essigsäure (natürlich unter entsprechendem Wasseraustritt) entstehen würden, deren Atome sich jedoch umlagern und wieder ein Zuckermolekül bilden.“ Die fol-

1) Vgl. Pfeffer: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7. S. 805.

2) Vgl. Wortmann's bereits citirte Abhandlung, S. 33.

genden Formelgleichungen können zur Illustration des Gesagten dienen:

$$1)\ 3(C_6H_{12}O_6) = 6(C_2H_5OH) + 6CO_2.$$
$$2)\ 6(C_2H_5OH) + 12O = 2(C_6H_{12}O_6) + 6H_2O.$$

Die von Wortmann beobachteten Verhältnisse der Kohlensäureabgabe seitens der Pflanzenzellen bei Abschluss und bei Zutritt des atmosphärischen Sauerstoffs erklären sich allerdings unter Berücksichtigung der vorstehenden Gleichungen in befriedigender Weise. Die Dissociation des Zuckers soll unter allen Umständen, verbunden mit innerer Athmung, in derselben Weise erfolgen. Diese innere Athmung ist aber auch die einzige Ursache der Kohlensäureproduction der Pflanzenzellen, und von normaler Athmung kann nach Wortmann überhaupt niemals die Rede sein[1].

Es unterliegt gar keinem Zweifel, dass die genannten Forscher bei der Formulirung ihrer Anschauungen über das Wesen der Pflanzenathmung von dem Bestreben ausgingen, einheitliche Gesichtspunkte zur Beurtheilung der fraglichen Verhältnisse zu gewinnen. Brefeld stellt die normale Athmung in den Vordergrund, und es soll selbst das Wachsthum gewisser Pflanzenzellen bei Sauerstoffabschluss erst durch einen Vorgang ermöglicht werden, der principiell nicht von dem Vorgange der normalen Athmung verschieden ist. Hingegen ist es Pfeffer, und ganz ins Besondere Wortmann, darum zu thun, die innere Athmung oder die mit derselben Hand in Hand gehenden Spaltungsprocesse als Vorgänge hinzustellen, die sich in jeder lebenden Pflanzenzelle zu jeder Zeit abspielen.

Meine eigenen Anschauungen über das Wesen der Pflanzenathmung stimmen nun zwar nicht in allen Punkten mit denjenigen der genannten Forscher überein, aber ich bin ebenso wie dieselben von der Ueberzeugung durchdrungen, dass es vor allen Dingen darauf ankommt, die verschiedenartigen Phänomene, welche sich der Beobachtung darbieten, unter einheitliche Gesichtspunkte zu bringen.

Vor allen Dingen ist es nach Allem, was im vorigen Hauptabschnitte gesagt worden, wichtig, die Ansicht, wonach die in den Pflanzenzellen vorhandenen stickstofffreien Verbindungen unmittelbar das Athmungsmaterial liefern, fallen zu lassen. Die Lebenseinheiten des Plasma sind vielmehr als diejenigen Zellbestandtheile

1) Der freie atmosphärische Sauerstoff bedingt nach Wortmann's Anschauung, wie wir uns ausdrücken müssen, lediglich Vinculationsathmung.

anzusehen, in denen sich die gesammten Lebensäusserungen der Pflanzen gewissermassen concentriren. Zu allen Zeiten und unter allen Umständen, sowohl am Tage als während der Nacht, bei Sauerstoffzutritt und bei völligem Sauerstoffmangel, zerfallen die Bestandtheile des Plasma in stickstoffhaltige und stickstofffreie Verbindungen. Es hängt ganz von den herrschenden Verhältnissen ab, ob die stickstoffhaltigen Dissociationsproducte des Plasma aufs Neue in Eiweisskörper umgewandelt werden können, oder ob dies nicht geschieht. Auf alle Fälle wird aber erst durch den erwähnten Dissociationsprocess das Athmungsmaterial in Form eines Körpers, welcher die procentische Zusammensetzung des Traubenzuckers besitzt, gewonnen. Diese stickstofffreien Spaltungsproducte können nun entweder normaler oder innerer Athmung anheimfallen, und vor allen Dingen beansprucht deshalb die Frage nach den Beziehungen dieser verschiedenartigen Processe zu einander unser Interesse.

Wortmann's Anschauungen über das Wesen der Pflanzenathmung scheinen dem geistigen Bedürfnisse nach einer einheitlichen Auffassung der gesammten in Rede stehenden Verhältnisse auf den ersten Blick am meisten Rechnung zu tragen, denn sie sind einfach genug, und sie stehen mit manchen bei dem Studium der Athmung constatirten Thatsachen, zumal mit dieser, dass die Pflanzenzellen bei Zutritt sowie bei Abschluss des freien Sauerstoffs gleich grosse Kohlensäurequantitäten aushauchen, im Einklange. Aber dennoch lässt sich unter Hinweisung auf die Ergebnisse experimenteller Forschungen zeigen, dass die Ansichten Wortmann's über die Pflanzenathmung nicht in allen Punkten richtig sein können.

Die Untersuchungen verschiedener Beobachter haben nämlich ergeben, wie im nächsten Hauptabschnitte eingehender gezeigt werden soll, dass dann, wenn sich in solchen Pflanzentheilen, die reich an Kohlehydraten sind, Stoffwechselprocesse geltend machen, die verschwindende Trockensubstanz zu der in Folge der Dissociation der Lebenseinheiten des Plasma entstehenden und in Folge des Stoffwechsels verschwindenden Glycosemenge in dem Verhältniss von 1:1.20 steht. Berechnet man aber das Verhältniss zwischen der verschwindenden Trockensubstanz- und Glycosemenge nach Wortmann's angeführten Gleichungen, so gelangt man zu dem Werthe 1:1.45. Ferner ist von grosser Bedeutung, dass bei normaler Athmung nach experimentellen Ermittelungen, die noch in diesem Hauptabschnitte Erwähnung finden sollen, auf 6 Atome Kohlenstoff, die im Verlaufe der Stoffwechselprocesse aus ihrer

Verbindung als Glycose in anderweitige Verbindungen übergehen, 5 Atome Kohlenstoff in Verbindung mit Sauerstoff ausgeathmet werden, während nach Wortmann auf je 6 Kohlenstoffatome desjenigen Materials, welches verathmet wird, nur 2 Atome Kohlenstoff zur Kohlensäureproduction Verwendung finden können.

Um das Gewicht der hier gegen Wortmann's Anschauungen erhobenen Einwände richtig würdigen zu können, ist nicht zu vergessen, dass dieselben unter Berücksichtigung der Resultate experimenteller Forschungen von uns geltend gemacht worden sind, während Wortmann's Ansicht selbst nur eine der von vornherein über das Wesen der Pflanzenathmung möglichen Auffassungen repräsentirt. Nach meiner Meinung kann dann, wenn Pflanzenzellen sich in Contact mit grossen Sauerstoffmengen befinden, von innerer Athmung nicht die Rede sein, vielmehr erfahren die stickstofffreien Dissociationsproducte der Lebenseinheiten unter diesen Umständen eine Oxydation unter Vermittelung des freien Sauerstoffs, und während auf der einen Seite Kohlensäure sowie Wasser entstehen, wird ferner ein Körper von der Zusammensetzung des Methylaldehyds gebildet, der in den Pflanzenzellen verbleibt und das Material zur Zellstoffbildung liefern kann. Der hier in Rede stehende Process lässt sich durch die folgende Formelgleichung zum Ausdruck bringen:

$$C_6H_{12}O_6 + 10O = 5CO_2 + 5H_2O + CH_2O.$$

Werden die Zellen höherer Pflanzen dem Einfluss des freien Sauerstoffs völlig entzogen, so sollen die stickstofffreien Dissociationsproducte der Lebenseinheiten des Plasma nach Wortmann ebenso wie bei ungehindertem Sauerstoffzutritt in Alkohol und Kohlensäure zerfallen, aber der Alkohol kann unter diesen Umständen natürlich keine weitere Verwendung zur Restitution von Zuckermolekülen finden, sondern er muss sich in den Pflanzentheilen anhäufen. Diese Anschauung steht ebenso mit bekannten Thatsachen in Widerspruch, obgleich sie die Beobachtung, dass lebende Pflanzenzellen bei Sauerstoffzutritt sowie bei Sauerstoffabschluss gleich grosse Kohlensäuremengen produciren, in befriedigender Weise erklärt. Man hat nämlich feststellen können, dass die Zellen höher organisirter Pflanzen bei Sauerstoffabschluss weit weniger Alkohol bilden als Hefezellen dies unter denselben Verhältnissen vermögen, und als Wortmann's Formelgleichung, die sich an diejenigen Gleichungen, welche man über den Process der gewöhnlichen durch Hefepilze verursachten Alkoholgährung aufgestellt

hat, eng anschliesst, dies verlangt [1]). Wir müssen deshalb schliessen, dass die stickstofffreien Dissociationsproducte der Eiweissstoffe des Plasma in den Zellen höherer Gewächse bei völligem Sauerstoffabschluss ein wesentlich anderes Verhalten zeigen als die entsprechenden Producte in den Hefezellen. Ihre Atome treten allerdings in Folge intramolekularer Bewegung wie diejenigen der stickstofffreien Verbindungen in den Hefezellen zur Bildung von Kohlensäure, Alkohol und einigen anderen Körpern zusammen, aber es ist doch mit Nachdruck zu betonen, dass in den Zellen höher organisirter Gewächse bei Luftabschluss nur relativ geringe Alkoholmengen, dagegen verhältnissmässig grosse Quantitäten Kohlensäure [2]) und anderweitiger Producte entstehen [3]).

Wenn die Hefezellen nicht zu lange Zeit unter normalen Ernährungsverhältnissen bei Abschluss des freien Sauerstoffs verweilen, so lässt sich der in Folge intramolekularer Bewegung stattfindende Zersetzungsprocess der stickstofffreien Dissociationsproducte der Lebenseinheiten des Plasma ziemlich genau dadurch charakterisiren, dass aus einem Molekül Glycose 2 Moleküle Alkohol und 2 Moleküle Kohlensäure entstehen [4]). Ausserordentlich lebhafter Sauerstoffzutritt zu den Hefezellen verändert aber den Charakter der chemischen Processe, die sich in denselben abspielen, vollkommen, denn dann erleiden die stickstofffreien Dissociationsproducte der Lebenseinheiten offenbar unter Vermittelung des Sauerstoffs der Luft genau dieselben Veränderungen wie diejenigen höherer Pflanzen unter normalen Verhältnissen, und die Alkoholbildung ist gänzlich ausgeschlossen. Je geringer die Sauerstoffzufuhr zu den Pilzzellen wird, um so mehr treten die Alkoholbildung und der Vorgang innerer Athmung in den Vordergrund.

1) Derartig verhalten sich selbst sehr zuckerreiche Theile höherer Pflanzen. Man vgl. Brefeld, Landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 5, S. 330.

2) Ueber das Wesen der intramolekularen Bewegungsprocesse, die sich in den Zellen höher organisirter Pflanzentheile bei Luftabschluss abspielen, sind wir nicht genauer unterrichtet.

3) Derartige Producte (namentlich Säuren und aromatisch-riechende Verbindungen) entstehen bei der durch Hefepilze verursachten normalen Gährung nicht oder nur in geringen Mengen. Dagegen vermag die Hefe jene Körper ebenfalls zu erzeugen, wenn sie unter Bedingungen geräth, unter denen sie den Zucker zwar noch zerlegen, aber nicht mehr wachsen kann. Man vgl. Brefeld, Landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 5, S. 330.

4) Diese Charakteristik ist nur ziemlich genau, weil bei der Gährung neben Alkohol und Kohlensäure noch geringe Quantitäten anderer Körper entstehen. Als solche sind z. B. Glycerin etc. sowie Substanzen zu nennen, die beim Wachsthum der Hefezellen Verwendung finden.

Bei beschränktem Sauerstoffzutritt können die stickstofffreien Dissociationsproducte gewisser Lebenseinheiten einer Zelle eine Oxydation erfahren, während die Zersetzungsproducte anderer Lebenseinheiten derselben Zelle dem Processe innerer Athmung unterliegen.

Aber auch in einzelnen Theilen höherer Pflanzen können die beiden Vorgänge der normalen sowie der inneren Athmung gleichzeitig zur Geltung kommen. Allerdings ist dies nicht sehr häufig unter normalen Verhältnissen der Fall, und aus diesem Grunde begegnet man in den meisten Stengeln und Blättern etc. auch keinen nachweisbaren Alkoholmengen [1]). Denken wir uns aber den Fall, dass wir es mit Pflanzentheilen zu thun haben, die im Verhältniss zu ihrer Masse eine relativ geringe Oberfläche besitzen, so ist es allerdings gewiss, dass die Zellen derselben unter gewöhnlichen Umständen vorwiegend normale Athmung unterhalten werden. Die Tendenz zur inneren Athmung bleibt zwar, wie wir anzunehmen berechtigt sind, selbst in denjenigen Zellen, zu denen der freie Sauerstoff den unmittelbarsten Zutritt hat, immer bestehen, aber der Zerfall der stickstofffreien Dissociationsproducte der Lebenseinheiten in Alkohol etc. kann nicht zu Stande kommen, weil der freie Sauerstoff oxydirend eingreift und das Hervortreten normaler Athmung bedingt. In denjenigen Zellen der in Rede stehenden Pflanzentheile, die mehr im Innern des Gewebes liegen, ist aber das Stattfinden innerer Athmung nicht ausgeschlossen, denn wenn die nach aussen gelegenen Zellen den Sauerstoff völlig für sich in Anspruch nehmen, so werden die stickstofffreien Dissociationsproducte der Lebenseinheiten der übrigen Elementargebilde dem Zerfall in Alkohol, Kohlensäure etc. unterliegen müssen, und in der That hat z. B. Pasteur in einem Apfel, der längere Zeit an der Luft verweilt hatte, geringe Alkoholmengen nachweisen können, während Gutzeit [2]) andererseits in den Früchten von Heracleum giganteum Aethylalkohol entdeckte.

---

1) Von besonderem Interesse ist hier für uns, dass in vielen Keimpflanzen, die sich mit der Luft in Contact befinden, thatsächlich keine Alkoholanhäufung stattfindet. Man vgl. Schulz (Journal f. prakt. Chm. 1862, S. 172), Sachsse (Habilitationsschrift über einige chem. Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum, 1872, S. 9) und Detmer (Physiolog.-chem. Untersuchungen über die Keimung etc., 1875, S. 18).

2) Vgl. Gutzeit: Ueber das Vorkommen des Aethylalkohols respect. seiner Aether im Pflanzenreich, Jena, 1875 und Gutzeit's Beiträge zur Pflanzenchemie, Jena, 1879.

Ich bin mir wohl bewusst, dass die sich auf das Wesen der Pflanzenathmung beziehenden Probleme noch bei weitem nicht in erschöpfender Weise behandelt worden sind, und dass unsere Vorstellungen über die Pflanzenathmung noch wesentliche Erweiterungen erfahren werden; aber dennoch hege ich die Ueberzeugung, dass bereits heute die folgenden Grundprincipien als gesicherte Errungenschaften der wissenschaftlichen Forschung aufgestellt werden können:

1. Der normalen sowie der inneren Athmung der Pflanzenzellen geht stets eine Dissociation der Lebenseinheiten des Plasma voran.

2. Die stickstofffreien Zersetzungsproducte haben stets die Tendenz, sich durch intramolekulare Bewegung der Atome weiter zu dissociiren.

3. Befinden sich die Pflanzenzellen aber mit dem freien Sauerstoff in Contact, so kommt dieser letzterer Dissociationsprocess nicht zum Abschluss, weil der Sauerstoff oxydirend auf die stickstofffreien Verbindungen einwirkt und zur Bildung von Kohlensäure, Wasser sowie eines Körpers, der für die Zwecke des Wachsthums in Anspruch genommen werden kann, Veranlassung giebt. (Normale Athmung.)

4. Bei Sauerstoffabschluss vollzieht sich die Dissociation der stickstofffreien Verbindungen in den Pflanzenzellen in augenfälligster Weise, aber der Verlauf dieses Vorganges ist nicht in allen Fällen derselbe, übrigens stets mit innerer Athmung verbunden.

5. Normale alkoholische Gährung, die bei Sauerstoffabschluss mit Wachsthum der Gährungserreger verbunden ist, vermögen lediglich die Zellen einiger Pilze hervorzurufen. Die Zellen höherer Pflanzen, (und ihnen analog verhalten sich die Zellen der erwähnten Pilze, wenn sie zu lange bei Sauerstoffabschluss verweilen) können bei Mangel des freien Sauerstoffs nicht wachsen; sie sterben allmählich ab, aber sie unterhalten in diesem Zustande, so lange sie noch nicht völlig getödtet sind, innere Athmung, und als Dissociationsproducte der in Folge der Zersetzung der Eiweisskörper gebildeten stickstofffreien Stoffe treten geringe Alkoholmengen, Kohlensäure sowie anderweitige Substanzen auf.

Viertes Capitel.

Die Bildung von Kohlenoxyd und Wasserstoff etc. bei der Keimung.

Wenn man die Literatur über den Keimungsprocess der Samen eingehender studirt, so begegnet man häufig der Angabe, dass die Keimpflanzen unter normalen Verhältnissen bei ihrer Entwickelung, abgesehen von der Kohlensäure, noch andere Gase aushauchen [1]).

Boussingault [2]) äussert die Ansicht, dass während des ersten Keimungsstadiums verschiedener Samen Kohlenoxydgas von den Untersuchungsobjecten ausgehaucht werde. Es wurden einerseits Weizenkörner, andererseits Weizenkeimpflänzchen, deren Würzelchen soeben hervorgebrochen war, untersucht.

Das zum Keimen ausgelegte Körnerquantum wog (bezogen auf aschenfreie Trockensubstanz) 2.439 Grm., die Keimpflanzen (wieder bezogen auf aschenfreie Trockensubstanz) wogen 2.365 Grm. Die Elementaranalysen lieferten die folgenden Reusltate:

	Vor der Keimung.	Nach der Keimung.
Kohlenstoff	46.6	47.0
Wasserstoff	5.8	5.9
Stickstoff	3.45	3.7
Sauerstoff	44.15	43.4
	100.00	100.0

	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.	Stickstoff.
2.439 Gr. Samen enthalten also:	1.137	0.141	1.077	0.084
2.365 Gr. Keimungsproducte enthalten also:	1.112	0.140	1.026	0.088
Differenz:	— 0.025	— 0.001	— 0.051	+ 0.004

Boussingault zieht aus den mitgetheilten Zahlen die folgenden Schlüsse:

„Nun geben 0.025 Grm. Kohlenstoff mit 0.033 Grm. Sauerstoff 0.058 Grm. Kohlenoxydgas; es bleiben dann noch 0.018 Grm. Sauerstoff. Nun erfordern 0.001 Wasserstoff 0.008 Sauerstoff; folg-

1) Die Frage, ob Stickstoff und Ammoniak bei der Keimung der Samen entwickelt werden, berühren wir hier nicht weiter.

2) Vgl. Boussingault: Die Landwirthschaft in ihrer Beziehung zur Chemie, Physik und Meteorologie. Deutsch v. Graeger, B. 1. S. 28.

lich ist nach Abzug des zur Bildung von Kohlenoxydgas und Wasser verwendeten Sauerstoffs noch 0.010 übrig geblieben."

Es ist nicht einzusehen, da die Entstehung des Kohlenoxyds nicht direct constatirt wurde, weshalb Boussingault die Resultate seiner Untersuchungen in der angeführten Weise deutet. Man kann ebenso gut sagen, dass der Sauerstoff, der nicht zur Oxydation des Wasserstoffs diente, sich mit dem Kohlenstoff zu Kohlensäure verbunden habe, und in der That ist hiermit die einzig zulässige Deutung der Ergebnisse der Beobachtungen Boussingault's gegeben [1]).

M. Schulz [2]) glaubt, dass Wasserstoff ein normales Product der Keimung sei. Er liess Kressesamen in verschlossenen Glaskolben 12 Tage lang keimen und untersuchte hierauf die Luft in den Gefässen auf ihre Zusammensetzung. Schulz gelangte z. B. zu folgenden Resultaten:

Zusammensetzung der Luft in 100 Theilen.

	1. Versuch.	2. Versuch.	3. Versuch.
CO_2	26.79	12.98	33.55
O	0.507	14.01	5.013
H	1.538	0.75	1.355
N	71.165	72.26	60.082
	100.000	100.00	100.000

Sehr bedeutende Wasserstoffmengen sollen ferner nach M. Schulz bei der 12 Tage lang dauernden Keimung von Lupinus albus und Vicia Faba producirt werden. Die procentische Zusammensetzung der Luft gestaltete sich z. B. nach Abschluss der Versuche wie folgt:

	Versuch mit Lupinus.	Versuch mit Vicia.
CO_2	45.72	74.33
O	0.48	0.10
H	28.08	6.58
N	25.72	18.99
	100.00	100.00

Zu bemerken ist noch, dass nach M. Schulz bei der Keimung niemals Schwefelwasserstoff, sowie schwefelige Säure erzeugt werden.

---

1) Boussingault (vgl. Compt. rend. T. 58, p. 885) ist übrigens durch weitere Untersuchungen zu der Ueberzeugung geführt worden, dass bei der Keimung der Samen nur Kohlensäure und Wasser als Athmungsproducte gebildet werden.

2) Vgl. M. Schulz, Journal f. prakt. Chm. 1862. B. 87. S. 142.

Fleury[1]) hat ebenfalls die Ansicht ausgesprochen, dass nicht die gesammten Kohlenstoff- und Wasserstoffquantitäten, welche die Samen bei der Keimung verlieren, in Form von Kohlensäure und Wasser absgeschieden werden; er glaubt vielmehr, dass bei der Keimung neben Kohlensäure und Wasser Sumpfgas (CH_4) und freier Wasserstoff entstehen. Fleury legte 10.921 Grm. Ricinuskörner in feuchtem Sand zum Keimen aus und leitete entkohlensäuerte Luft über die Untersuchungsobjecte. Die aus dem Apparate, in welchem die Keimung erfolgte, austretende Luft, wurde zunächst von der Kohlensäure, welche sie aufgenommen hatte, befreit, und sie strich dann durch ein mit Kupferoxyd angefülltes und zum Glühen erhitztes Rohr. Kohlenwasserstoff und Wasserstoff, die sich etwa bei der Keimung gebildet hatten, wurden zu Kohlensäure und Wasser verbrannt, und diese Producte konnten leicht dem Gewichte nach bestimmt werden.

Fleury liess die Samen 37 Tage lang keimen. Im Verlaufe dieser Zeit hatte sich eine Quantität verbrennbarer Gase gebildet, die 0.1455 Grm. Wasser, respct. 0.01616 Grm. Wasserstoff und 0.1255 Grm. Kohlensäure, respct. 0.0342 Grm. Kohlenstoff entsprach. Die 0.0342 Grm. Kohlenstoff erfordern zur Bildung von Sumpfgas 0.0104 Grm. Wasserstoff; mithin musste sich neben dem Methylwasserstoff noch freier Wasserstoff gebildet haben[2]).

Verschiedene Forscher bestreiten die Richtigkeit der Angabe, dass keimende Samen unter normalen Verhältnissen Kohlenwasserstoffe oder Wasserstoff aushauchen, durchaus. Wir werden später noch verschiedene mit grosser Sorgfalt angestellte Untersuchungen näher kennen lernen, bei deren Ausführung die Experimentatoren zu dem Ergebnisse gelangten, dass bei der Keimung lediglich Kohlensäure und Wasser als Athmungsproducte abgeschieden werden; hier wollen wir nur auf einige Beobachtungen hinweisen, die zu dem nämlichen Resultate geführt haben.

Bereits Oudemans und Rauwenhoff[3]) constatirten, dass ölreiche, sowie stärkereiche Samen bei der Keimung keine anderen Athmungsproducte als Kohlensäure und Wasser ausgeben. Die neueren Untersuchungen von Borodin, sowie von Débérain

---

1) Vgl. Fleury, Annl. d. Chim. et d. Phys. IV. Ser. T. 4. p. 39.

2) Bemerkt sei noch, dass keimende Samen ebenfalls nach Sennebier (Phys. végét., T. 3. p. 390) Wasserstoff ausgeben.

3) Vgl. Oudemans und Rauwenhoff, Jahresbericht d. Chemie für 1858. S. 493.

und Landrin, welche wir bereits zum Theil kennen lernten, führten zu demselben Resultate. Es zeigte sich, dass eine Abscheidung von Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffen stets nur dann statthatte, wenn sich die Keimpflanzen abnormen Verhältnissen ausgesetzt befanden, wenn sie von einer sauerstofffreien Atmosphäre umgeben waren.

Berücksichtigen wir dies, und erwägen wir ferner, dass die Ricinussamen, mit denen Fleury experimentirte, wie dieser Beobachter selbst angiebt, zum Theil nicht keimten [1]), so werden wir bereits jetzt zu der Ueberzeugung geführt werden müssen, dass Keimpflanzen nur unter abnormen Verhältnissen Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe aushauchen, während dies nicht geschieht, wenn sich die jugendlichen Organismen unter normalen Bedingungen entwickeln können [2]). Wir dürfen wohl die Behauptung aufstellen, dass namentlich die Kohlehydrate der Samen und Keimpflanzen unter gewissen Umständen das Material zur Bildung von Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff liefern, denn die Resultate gewisser Untersuchungen von Popoff über die Sumpfgasgährung haben gezeigt, dass die Cellulose unter gewissen Bedingungen Sumpfgas und Wasserstoff als Zersetzungsproducte liefert [3]).

Popoff brachte z. B. Fliesspapier mit Wasser und einer geringen Quantität eines Schlammes, der mannigfache Küchenabfälle enthielt, in einem grossen Kolben in Berührung [4]). Der Kolben konnte mit Hülfe eines durchbohrten Korks verschlossen werden, und in die Bohrung wurde der eine Schenkel eines Gasentbindungsrohres eingeführt, während der andere unter Quecksilber mündete. Die Gasmengen, welche sich bei Beginn der Sumpfgasgährung entwickelten, waren natürlich noch nicht frei von Sauerstoff; aber bald verschwand der Sauerstoffgehalt des Gases, und

---

1) Unbegreiflicherweise hat Fleury diesem Umstande keine eingehendere Beachtung geschenkt, trotzdem derselbe von so wesentlichem Einfluss auf das Resultat seiner Untersuchungen sein musste.

2) Uebrigens ist zu bemerken, dass gewisse Pflanzen normalerweise Wasserstoff bei ihrer Vegetation abscheiden können. Dies ist z. B. bei der durch Bacterien eingeleiteten Buttersäuregährung der Fall. Ebenso können höhere Pilze Wasserstoff produciren. Vgl. darüber Müntz (Annl. de chm. et de physique, Ser. 5, B. 8. S. 67 und Bericht der deutschen chem. Gesellschaft, 1875, S. 906).

3) Vgl. Popoff, Pflüger's Archiv f. Physiologie. B. 10. S. 113.

4) Die geringe Schlammmasse wurde nur hinzugefügt, um die Sumpfgasgährung einzuleiten. Im Schlamm war das Vorhandensein vieler Bacterien nachzuweisen.

eine nach zweiwöchentlicher Dauer des Versuchs gesammelte Gasprobe zeigte z. B. die folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure	25.70	%
Sumpfgas	14.42	„
Wasserstoff	14.36	„
Stickstoff	45.52	„

Fünftes Capitel.

Specielles über die Athmung der Keimpflanzen.

Wir können fortan von dem wichtigen Gesichtspunkte ausgehen, dass alle keimenden Samen unter normalen Verhältnissen nur Kohlensäure und Wasser als Athmungsproducte liefern, und es handelt sich jetzt für uns darum, den Verlauf der Athmung bei der Keimung genauer zu untersuchen. Die hier zu behandelnden Probleme sind zwar vielfältig zum Gegenstande der Beobachtung gemacht worden, aber trotzdem sind dieselben weit von ihrer definitiven Lösung entfernt. Man hat zwar die Athmung einzelner Pflanzen mehr oder weniger eingehend studirt, man suchte ferner die Abhängigkeit der Athmung von äusseren Bedingungen festzustellen etc. etc.; indessen die meisten Beobachter gingen bei der Ausführung ihrer Untersuchungen von keinen allgemeineren Gesichtspunkten aus, so dass es in der That noch heute mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist, ein Gesammtbild über den Athmungsprocess der Keimpflanzen zu entwerfen.

Die Methoden, deren man sich beim Studium der Athmungsvorgänge bedient, sind sehr verschiedener Natur, aber auch von sehr verschiedenem Werthe. Bringt man das Untersuchungsmaterial in eine beschränkte Luftmenge von bekannter Zusammensetzung, um die Veränderungen, welche die Luft in Folge der Keimung erleidet, festzustellen, so wird man nur unter Anwendung ganz besonderer Vorsichtsmassregeln und namentlich nur dann, wenn man die einzelnen Bestimmungen nicht über zu lange Zeiträume ausdehnt, zu genauen Resultaten gelangen können. Handelt es sich darum, das Verhalten des Kohlenstoffs und Wasserstoffs bei der Keimung genauer zu studiren, so verfährt man bei der Ausführung der Untersuchungen entweder derartig, dass man die elementare Zusammensetzung der Samen einerseits und diejenige der Keimungsproducte andererseits feststellt, um die gewonnenen Resultate mit einander zu vergleichen, oder man sucht

die von den Keimpflanzen während ihrer Entwickelung ausgehauchten Kohlensäure- und Wasserquantitäten direct zu bestimmen. Jede dieser einzelnen Methoden verdient Beachtung, und man wird, wenn es sich darum handelt, specielle Fragen zu entscheiden, bald diese, bald jene Methode in Anwendung bringen müssen, ja gewisse Probleme sind nur dann zu lösen, wenn man verschiedene Methoden neben einander benutzt.

Mit dem Athmungsprocesse der Pflanzen ist in den bei weitem meisten Fällen eine Zerstörung von organischer Substanz verbunden. Der von den keimenden Samen aufgenommene Sauerstoff wirkt oxydirend auf die Reservestoffe ein, Kohlensäure sowie Wasser werden abgeschieden, und in Folge dessen muss der Same bei der Keimung einen Verlust an Trockensubstanz erfahren. Diese letztere Erscheinung ist so leicht zu constatiren, dass sie keinem derjenigen Beobachter, die den Keimungsprocess mit der Wage in der Hand studirten, entgehen konnte.

Boussingault[1]) fand z. B., dass Samen, wenn die Keimung derselben nur genügend lange Zeit im Dunkeln fortschreitet, mehr als 50 $^0/_0$ ihrer Trockensubstanz verlieren können, ohne dass die Keimpflanzen zu Grunde gehen.

1) Am 5. Mai wurden 46 Weizenkörner zum Keimen ausgelegt. Die Körner besassen ein Trockensubstanzgewicht von 1.665 Grm. Die Pflanzen entwickelten sich bis zum 25. Juni im Dunkeln und zeigten nunmehr ein Trockengewicht von 0.713 Grm. Die Elementaranalysen der Körner und Keimungsproducte lieferten die folgenden Resultate:

	Körner.	Keimungsprodukte.
Kohlenstoff	45.5	41.1
Wasserstoff	5.7	6.0
Stickstoff	3.4	8.0
Sauerstoff	43.1	39.5
Mineralstoffe	2.3	5.4
	100.0	100.0

Hieraus ergiebt sich:

		C.	H.	O.	N.	Mineralstoffe.
Körner	1.665 Grm.	0.758	0.095	0.718	0.057	0.038
Keimpflanzen	0.713 „	0.293	0.043	0.286	0.057	0.038
Verlust	0.952 Grm.	0.465	0.052	0.432	—	—

1) Vgl. Boussingault: Die Landwirthschaft in ihrer Beziehung zur Chemie, Physik und Meteorologie. Deutsch von Graeger. 1844. B. 1, S. 30. Siehe ferner Compt. rend. 1864. T. 58, p. 881.

2) 10 Erbsen von 2.237 Grm. Trockengewicht keimten vom 5. Mai an im dunklen Zimmer. Die Pflanzen legten sich um, als sie 15 Cm. hoch geworden waren, wuchsen aber noch bis zum 1. Juli weiter. Zu dieser Zeit begann eine Keimpflanze zu welken.

		C.	H.	O.	N.	Mineralstoffe.
Samen	2.237 Grm.	1.040	0.137	0.897	0.094	0.069
Keimpflanzen	1.076 „	0.473	0.065	0.397	0.072	0.069
Verlust	1.161 Grm.	0.567	0.072	0.500	0.022 [1])	—

3) Ein Maiskorn wurde am 2. Juni zum Keimen ausgelegt. Die Pflanze entwickelte sich bis zum 22. Juni bei Lichtabschluss.

		C.	H.	O.	N.	Mineralstoffe.
Maiskorn	0.5292 Grm.	0.2354	0.0336	0.2420	0.0086	0.0096
Keimpflanze	0.2900 „	0.1448	0.0195	0.1160	0.0087	0.0100
Verlust	0.2392 Grm.	0.0906	0.0141	0.1260	0.0001	0.0004

Auf die Resultate der Untersuchungen Boussingault's werden wir weiter unten zurückkommen. Zunächst ist es erforderlich, die Ergebnisse in's Auge zu fassen, welche R. Sachsse bei dem Studium des Keimungsprocesses von Pisum sativum erhielt, und zu welchen ich bei meinen Arbeiten über die Keimung von Zea Mays gelangte.

Durch die von Sachsse[2]) ausgeführten Beobachtungen ist unsere Kenntniss über den Keimungsprocess stärkereicher Samen in sehr wesentlicher Weise gefördert worden[3]).

Für Sachsse handelte es sich zunächst darum, die Kohlensäurequantität, welche keimende Erbsen aushauchen, direct zu bestimmen. Die Samen keimten im Dunkeln unter einer Glasglocke, und zwar wurde während der Entwickelung der Untersuchungsobjecte ein continuirlicher Luftstrom durch den Apparat geleitet. Die in die Glasglocke eintretende Luft hatte zur Entkohlensäuerung mehrere mit festem Aetzkali angefüllte Röhren passirt,

---

1) Der Stickstoff entwich mit Wasser verbunden in Form von Ammoniak; dies Ammoniak ist aber nicht als ein Product des Keimungsprocesses, sondern als ein Fäulnissproduct anzusehen.

2) Vgl. R. Sachsse: Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum. Habilitationsschrift. Leipzig 1872.

3) Die Methode, welche Sachsse bei der Ausführung seiner Beobachtungen in Anwendung brachte, ist sehr beachtenswerth. Ich werde bei der Besprechung meiner Arbeiten über den Athmungsprocess der Keimpflanzen genauer auf die Art und Weise, in welcher Untersuchungen über die Respiration keimender Samen etc. ausgeführt werden müssen, zurückkommen.

während die aus der Glocke austretende Luft zur Bestimmung der von den Keimpflanzen producirten Kohlensäure durch Barytwasser geleitet wurde. Sachsse hat auch nicht versäumt, die Kohlensäurequantität, welche Keimungsproducte noch beim Trocknen liefern, zu bestimmen. Sachsse erhielt nun z. B. die folgenden Resultate bei der Ausführung seiner Untersuchungen:

Angewandt 27 Erbsen = 7.5705 Grm. = 6.5440 Grm. Trockensubst.

			Kohlensäure producirt
in	44	Std.	0.0319 Grm.
„ weiteren	24	„	0.0713 „
„ „	24	„	0.1041 „
„ „	22[1])	„	0.0989 „
im Trockenapparat			0.0690 „
			0.3752 Grm. CO_2 = 0.1023 Grm. C.

Angewandt 27 Erbsen 7.4190 Grm. = 6.4130 Grm. Trockensubst.

			Kohlensäure producirt
in	43	Std.	0.0337 Grm.
„ weiteren	24	„	0.0631 „
„ „	24	„	0.1103 „
„ „	24	„	0.1230 „
„ „	24	„	0.1235 „
„ „	22.5	„	0.1245 „
„ „	22.5[2])	„	0.1209 „
im Trockenapparat			0.1213 „
			0.8203 Grm. CO_2 = 0.2237 Grm. C.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate zusammengestellt, zu denen Sachsse bei den Bestimmungen des Trockensubstanzverlustes keimender Erbsen und bei der Ermittelung der in Form von Kohlensäure seitens der Untersuchungsobjecte abgeschiedenen Kohlenstoffquantität gelangte. Die Zahlen repräsentiren Mittelwerthe, und zwar ist unter 1 die Menge Kohlenstoff, welche 100 Grm. Erbsentrockensubstanz beim Keimen als Kohlensäure verlieren, unter 2 die hierbei zurückbleibende Trockensubstanz, unter 3 die Summe der letzteren und des ausgeschiedenen Kohlenstoffs, und unter 4 die Differenz, welche zwischen den unter 3 aufgeführten Werthen und 100 besteht, angegeben. Es ist dies der Verlust,

1) Nach 114 stündiger Keimung (Periode I) hatte die Radicula eine Länge von 2.5 Cm. erreicht; die Stammachse war noch zwischen den Cotyledonen eingeschlossen.

2) Nach 184 stündiger Keimung (Periode II) hatte sich die Stammachse stark gestreckt, und die ersten Blättchen hatten sich entfaltet.

den die Samen bei der Keimung, abgesehen vom Kohlenstoff, erleiden.

	Dauer der Versuche	
	114 Std.	184 Std.
1)	1.55	3.28
2)	95.26	91.55
3)	96.80	94.83
4)	3.20	5.17

Bei der elementaranalytischen Untersuchung der Samen und Keimungsproducte gelangte Sachsse zu folgenden Ergebnissen über die procentische Zusammensetzung derselben:

		Keimungsproducte der	
	Ungekeimte Erbsen.	I. Periode.	II. Periode.
Kohlenstoff	46.280	46.25	46.41
Wasserstoff	6.340	6.38	6.28
Stickstoff	3.815	4.00	4.10
Sauerstoff	40.517	40.18	39.89
Aschenbestandtheile	3.048	3.19	3.32
	100.000	100.00	100.00

Die absoluten Verluste an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, welche die Untersuchungsobjecte bei der Keimung erlitten, gestalten sich danach wie folgt:

Es verloren 100 Grm. Samentrockensubstanz, die nach Vollendung des ersten Keimungsstadiums 96.58 Grm. zurückliessen:

Kohlenstoff 1.61 Grm.
Wasserstoff 0.18 „
Sauerstoff 1.71 „

Es verloren 100 Grm. Samentrockensubstanz, die nach Vollendung des zweiten Keimungsstadiums 92.54 Grm. zurückliessen:

Kohlenstoff 3.34 Grm.
Wasserstoff 0.53 „
Sauerstoff 3.60 „

Es betrug also der Verlust während des zweiten Keimungsstadiums:

Kohlenstoff 1.73 Grm.
Wasserstoff 0.35 „
Sauerstoff 1.89 „

Die atomistischen Verhältnisse, in denen diese Gewichtsmengen unter einander stehen, sind:

$C^1H^{1.34}O^{0.80}$ für die erste Periode.
$C^1H^{2.43}O^{0.82}$ „ „ zweite „

Wir gelangen also zu dem Resultate, dass die von keimenden Erbsen während der beiden ersten Perioden ausgegebenen Mengen Kohlenstoff und Sauerstoff in dem atomistischen Verhältniss von 10 : 8 stehen. Wasserstoff wird während des zweiten Keimungsstadiums bedeutend mehr abgeschieden, als während des ersten.

Bei der Ausführung meiner Untersuchungen über den Keimungsprocess des Mais gelangten die Früchte zunächst auf flachen Schalen mit Wasser in Berührung [1]). Hatten die Embryonen der Untersuchungsobjecte sich kräftig entwickelt, so wurden dieselben unter Benutzung von Schalen, die Wasser enthielten und die mit Tüll überspannt waren, weiter cultivirt. Die Samen ruhten auf dem Tüll, und die Wurzeln der Pflanzen tauchten in das Wasser ein. Es ist hier nicht der Ort, die Art und Weise, in welcher die Maispflanzen während ihrer Entwickelung behandelt worden sind, eingehender zu beschreiben. Wir wenden uns direct zur Mittheilung der Resultate der Beobachtungen und bemerken nur noch, dass die Pflanzen sich bei Abschluss des Lichtes ausbildeten. Die Elementaranalysen lieferten die folgenden Ergebnisse:

100 Theile Trockensubstanz enthielten:

		Keimungsproducte		
	Früchte.	I. [2])	II. [3])	III. [4])
Kohlenstoff	47.65	47.35	48.11	48.13
Wasserstoff	7.87	7.05	8.12	8.07
Stickstoff	1.71	1.78	2.59	3.15
Asche	1.50	1.83	2.84	3.47
Sauerstoff	41.27	41.99	38.34	37.18
	100.00	100.00	100.00	100.00

100 Grm. Maiskörnertrockensubstanz lieferten nach Vollendung der ersten Keimungsperiode 90.99 Grm., nach Vollendung der zweiten Keimungsperiode 60.19 Grm. und endlich nach Vollendung der dritten Keimungsperiode 51.01 Grm. Pflanzentrockensubstanz. Unter Berücksichtigung dieser Angaben und der für die procentische Zusammensetzung der Körner und Keimungsproducte ermittelten Werthe berechnen sich die absoluten Verluste der Untersuchungs-

---

1) Vgl. meine physiologisch-chemischen Untersuchungen über die Keimung ölhaltiger Samen und über die Vegetation von Zea Mays. Leipzig und Kassel 1875. S. 47.

2) Die Pflanzen hatten sich 8 Tage lang bei Abschluss des Lichtes entwickelt.

3) Die Pflanzen hatten sich 4 Wochen lang bei Abschluss des Lichtes entwickelt.

4) Die Pflanzen hatten sich 5 Wochen lang hei Abschluss des Lichtes entwickelt.

objecte an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff für die einzelnen Keimungsstadien wie folgt:

	Periode I.	Periode II.	Periode III.
Kohlenstoff	4.57 Grm.	14.12 Grm.	4.41 Grm.
Wasserstoff	1.46 „	1.52 „	0.77 „
Sauerstoff	3.06 „	15.13 „	4.11 „

Die atomistischen Verhältnisse, in denen die abgeschiedenen Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffquantitäten zu einander stehen, sind nachfolgend angegeben:

$C^{1}H^{3 \cdot 83}O^{0 \cdot 50}$ für Periode I.
$C^{1}H^{1 \cdot 29}O^{0 \cdot 80}$ „ „ II.
$C^{1}H^{2 \cdot 09}O^{0 \cdot 70}$ „ „ III.

Ueberblicken wir die Resultate der Untersuchungen, welche Boussingault, Sachsse und ich über die Keimung stärkereicher Samen ausführten, so ist zunächst zu bemerken, dass nach allen vorliegenden Beobachtungen der procentische Gehalt der Keimungsproducte an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff nicht wesentlich von dem procentischen Gehalte der Samen an diesen Elementen abweicht, wenn wir es mit Keimungsproducten von geringem Alter zu thun haben [1]). Die Keimungsproducte von Zea Mays unterscheiden sich hinsichtlich ihres procentischen Kohlenstoffgehaltes auch dann noch nicht erheblich von den ruhenden Samen, wenn der Embryo eine weitgehende Evolution erfahren hat; dagegen ist aber zu bemerken, dass der procentische Sauerstoffgehalt der Keimungsproducte sich stets beträchtlich geringer als derjenige der Samen stellt, wenn die Entwickelung der Keimpflanzen weiter fortgeschritten ist. Beim Weizen, der längere Zeit hindurch den Keimungsbedingungen ausgesetzt gewesen ist, begegnen wir endlich den erheblichsten Differenzen zwischen der procentischen Zusammensetzung der Samen und der Keimungsproducte [2]).

1) Boussingault hat Weizenkörner kurze Zeit lang keimen lassen und die Samen, sowie die Keimungsproducte der Elementaranalyse unterworfen. Wir haben die speciellen Ergebnisse dieser Untersuchungen nicht mitgetheilt, aber es sei hier bemerkt, dass auch durch die Resultate dieser Beobachtungen das soeben im Text Gesagte bestätigt wird.

2) Es sei hier bemerkt, dass die Resultate der Untersuchungen Sachsse's entschieden als eine wichtige Stütze der Anschauung gelten müssen, nach welcher die Samen unter normalen Keimungsbedingungen nur Kohlensäure und Wasser als Athmungsproducte abgeben. Denn Sachsse fand, dass die Werthe, welche für den Kohlenstoffverlust während der Keimung aus den Resultaten der Kohlensäurebestimmungen berechnet worden sind, fast genau mit denjenigen Werthen für den Kohlenstoffverlust übereinstimmten, die sich unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Elementaranalysen feststellen liessen.

Eine genauere Betrachtung der Werthe, welche Sachsse bei seinen Untersuchungen über den Keimungsprocess der Erbsen für die verschwundenen Amylum-, sowie Kohlenstoff-, Sauerstoff- und Wasserstoffquantitäten feststellen konnte, führte den genannten Forscher dahin, die folgende für die beiden ersten Keimungsstadien von Pisum sativum Gültigkeit besitzende Zersetzungsgleichung aufzustellen:

$$C_6H_{10}O_5 = C_5 + H_{10} - x + O_4 + CH_xO.$$

Diese Zersetzungsgleichung soll ausdrücken, dass, wenn ein Molekül Amylum bei der Keimung den Stoffwechselprocessen unterliegt, 5 Atome Kohlenstoff, x Atome Wasserstoff und 4 Atome Sauerstoff aus den Samen austreten, während die Atomgruppe CH_xO denselben verbleibt[1]).

Es erscheint berechtigt, den Werth 2 für x in obige Gleichung einzusetzen[2]). Auf je 5 Atome Kohlenstoff würden also stets 8 Atome Wasserstoff und 4 Atome Sauerstoff bei der Keimung aus den Samen austreten. Jene Sauerstoffquantität reicht also gerade aus, um den Wasserstoff zu Wasser zu verbrennen, während zur Oxydation des Kohlenstoffs 10 Atome Sauerstoff aus der Luft aufgenommen werden müssten. Wir haben nun gesehen, dass, wenn amylumreiche Samen in Berührung mit einer beschränkten Luftmenge normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt werden, das Volumen der Luft in Folge der Entwickelung des Embryo keine wesentlichen Veränderungen erfährt. Diese Thatsache wird unter der Voraussetzung erklärlich, dass lediglich der zur Oxydation des Kohlenstoffs nothwendige Sauerstoff der Luft entstammt. Man sieht also, dass die Erscheinungen, welche man bei der Keimung stärkereicher Samen in einem limitirten Luftquantum beobachtet, nur verständlich werden, wenn man daran festhält, dass Sauerstoff und Wasserstoff in dem Verhältnisse, in dem sie Wasser bilden, zur Abscheidung gelangen.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung erscheint es mir, dass nach meinen Untersuchungen die sich während des zweiten und dritten Keimungsstadiums des Mais abwickelnden chemischen Processe ganz ähnlicher Natur wie diejenigen sind, welche sich bei der

---

1) Bei Gelegenheit unserer Erörterungen über das Verhalten der Stärke etc. während der Keimung, kommen wir noch eingehender auf die Bedeutung dieser Zersetzungsgleichung zurück.

2) Es sei hier bemerkt, dass es bedeutende Schwierigkeiten hat, den Verlust an Wasserstoff, den die Keimpflanzen während ihrer Entwickelung erleiden, genau mit Hülfe der Elementaranalyse festzustellen.

Keimung der Erbse geltend machen. Die Maispflanzen hauchen ebenfalls auf 5 Atome Kohlenstoff 3—4 Atome Sauerstoff aus. Ferner ist zu erwähnen, dass die Resultate, zu denen Boussingault bei seinen Untersuchungen über die Keimung des Weizens und der Erbse gelangte, einigermassen mit den Ergebnissen der soeben angeführten Beobachtungen in Einklang zu bringen sind. Die atomistischen Verhältnisse, in denen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff abgeschieden wurden, berechnen sich aus den früher mitgetheilten Zahlen wie folgt:

Beim Weizen $= C^{1}H^{1.34}O^{0.70}$

Bei der Erbse $= C^{1}H^{1.52}O^{0.66}$

Die Resultate der mitgetheilten Untersuchungen berechtigen entschieden zu der Schlussfolgerung, dass der sich bei normaler Keimung stärkereicher Samen geltend machende Respirationsprocess wesentlich den Charakter der normalen Athmung trägt. Vinculationsathmung und innere Athmung werden nur in sehr untergeordnetem Masse auftreten können. Die erstere mag nicht ganz ausgeschlossen sein, weil die amylumreichen Samen stets ein grösseres oder geringeres Fettquantum enthalten, und die Fette, wie wir an einem anderen Orte sehen werden, nicht unerhebliche Sauerstoffquantitäten binden, ohne dafür entsprechende Kohlensäuremengen auszuhauchen[1]). Was die innere Athmung anbelangt, so ist bereits früher darauf hingewiesen worden, dass dieselbe von Keimpflanzen, die sich unter abnormen Verhältnissen, d. h. in einer sehr sauerstoffarmen oder völlig sauerstofffreien Atmosphäre befinden, unterhalten wird. Indessen können Keimpflanzen, wie O. Kellner in einer interessanten Abhandlung nachgewiesen hat, ebenfalls unter durchaus normalen Vegetationsbedingungen in Folge innerer Athmung Kohlensäure produciren[2]).

Der genannte Forscher bestimmte nämlich einerseits diejenige Kohlensäurequantität, welche keimende Erbsen, die sich lediglich mit destillirtem Wasser in Berührung befanden, aushauchten; andererseits aber suchte er die Grösse der Kohlensäureabgabe solcher Erbsenkeimpflanzen festzustellen, welche in einer Lösung von salpetersaurem Kali gequollen hatten[3]). Auf je 10 Grm. Erbsen bezogen, wurden z. B. die in der folgenden Tabelle zusammengestell-

1) Der Fettgehalt stärkereicher Samen ist oft sehr gering; Maisfrüchte enthalten aber zuweilen über 5 % Fett.

2) Vgl. O. Kellner, Versuchsstationen. B. 17, S. 408.

3) Auf je 10 Grm. Samen gelangten stets 40 Cc. Salpeterlösung, die eine Salpeterquantität enthielt, welche 0.1068 Grm. N_2O_5 entsprach, zur Anwendung.

ten Ergebnisse erhalten. Unter I ist die von den Erbsen unter gewöhnlichen Verhältnissen ausgehauchte Kohlensäuremenge angegeben; die Werthe unter II beziehen sich auf die Kohlensäureausgabe der in Kalisalpeterlösung gequollenen Samen, und unter III sind die Differenzen zwischen den Zahlen der Columnen I und II verzeichnet.

	I.	II.	III.
Während des 48stündigen Quellens	0.0501 Grm.	0.0592 Grm.	0.0091 Grm. CO_2
„ ferneren 24 Stunden	0.0452 „	0.0604 „	0.0152 „ „
„ „ 24 „	0.0508 „	0.0658 „	0.0150 „ „
„ „ 24 „	0.0692 „	0.0785 „	0.0093 „ „
„ „ 24 „	0.0840 „	0.0823 „	0.0017 „ „
„ „ 24 „	0.0876 „	0.0834 „	0.0042 „ „

Die Erbsen, welche in einer Salpeterlösung gequollen hatten, lieferten, wie die mitgetheilten Angaben und noch fernere Beobachtungen Kellner's zeigen, stets mehr Kohlensäure als diejenigen, denen nur reines Wasser zur Disposition gestellt worden war [1]).

Es ist nun von besonderem Interesse, dass Kellner nicht nur die Kohlensäurequantitäten, welche die Erbsenkeimpflanzen unter den verschiedenen Bedingungen aushauchten, bestimmte, sondern dass er ebenfalls Untersuchungen über das Verhalten der Salpetersäure bei der Keimung anstellte. Von den 0.1068 Grm. N_2O_5, welche je 10 Grm. Samen zur Disposition gestellt wurden, waren z. B. I. nach 48stündigem Quellen, II. nach ferneren 24 Stunden, III. nach weiteren 24 Stunden verschwunden

	I.	II.	III.
1. Versuch	0.0050 Grm.	0.0138 Grm.	0.0196 Grm.
2. „	0.0073 „	0.0128 „	0.0180 „
3. „	0.0059 „	0.0138 „	0.0189 „

Hatten die Samen 5 Tage lang gekeimt, so war fast die Gesammtmenge der Salpetersäure verschwunden. Die Thatsache, dass die gesteigerte Kohlensäureabgabe der Samen Hand in Hand mit dem Verschwinden der Salpetersäure geht, lässt keinen Zweifel darüber bestehen, dass der Sauerstoff der Salpetersäure organische Substanzen der Samen oxydirte, während der Stickstoff der Salpetersäure zur Bildung stickstoffhaltiger organischer Verbindungen Verwendung fand.

---

1) Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die Untersuchungsobjecte, die in reinem Wasser, und diejenigen, welche in Salpeterlösung gequollen hatten, den nämlichen Keimungsbedingungen ausgesetzt wurden.

Schliesslich muss noch bemerkt werden, dass nach den Untersuchungen Kellner's der Schwefelsäuregehalt der Erbsen allmählich bei der Keimung eine Verminderung erfährt. Unzweifelhaft geht mit diesem Vorgange ebenfalls eine gesteigerte Kohlensäureproduction Hand in Hand, und wir sehen also, dass der Process der inneren Athmung bei normaler Keimung stärkereicher Samen durchaus nicht völlig ausgeschlossen ist.

Es ist mit besonderem Nachdruck zu betonen, dass die Vorgänge der Athmung bei der Keimung fettreicher Samen einen wesentlich anderen Charakter als diejenigen tragen, welche sich bei der Keimung amylumreicher Samen geltend machen. Man hat nämlich bei bezüglichen Beobachtungen constatiren können, dass die Keimungsproducte fettreicher Samen nicht nur procentisch, sondern ebenfalls absolut reicher an Sauerstoff sind als die ausgelegten Samen. Oelreiche Samen absorbiren also, wie auch aus den Resultaten der früher mitgetheilten Untersuchungen Saussure's erhellt, weit grössere Sauerstoffquantitäten als amylumreiche Samen aus der Atmosphäre, und dieser Sauerstoff wird nicht nur zur Kohlensäure-, respective Wasserbildung verwandt, sondern ein beträchtlicher Theil desselben dient dazu, sauerstoffarme organische Verbindungen in sauerstoffreichere überzuführen. Es ist bekannt, dass die Oelsäure beim Stehen an der Luft Sauerstoff bindet und sich in eine neue Säure von stark saurer Reaction verwandelt. In der That werden wir erfahren, dass das Fett bei der Keimung Oxydationsprocessen unterliegen kann, die sich nur unter Berücksichtigung des soeben berührten Vorganges erklären lassen. Ganz insbesondere ist aber bereits hier darauf hinzuweisen, dass das Fett bei der Keimung ölreicher Samen das Material zur Bildung von Kohlehydraten liefert. Aus sauerstoffarmen Verbindungen entstehen demnach sauerstoffreiche Körper, und dieser Process ist nur unter Sauerstofffixirung möglich. Bei der Keimung fettreicher Samen macht sich also, um es mit einem Worte zu sagen, neben der normalen Athmung Vinculationsathmung in erheblichem Grade geltend.

Bereits ältere Untersuchungen lassen die Thatsächlichkeit dieses Verhältnisses klar hervortreten. Hellriegel hat z. B. die Keimung des Rapses eingehender studirt [1]) und einerseits die ruhen-

1) Vgl. Hellriegel, Journal f. prakt. Chem. B. 64, S. 102.

den Samen, andererseits die Keimungsproducte in fünf verschiedenen Stadien ihrer Entwickelung der Elementaranalyse unterworfen [1]). In der folgenden Tabelle ist unter I der Gehalt von 100 Grm. Rapssamen an Kohlenstoff etc. angegeben; die Zahlen unter II beziehen sich auf die Zusammensetzung von 96.82 Grm. der Keimungsproducte, welche 100 Grm. Samen nach Vollendung des fünften Keimungsstadiums lieferten:

	I.	II.
C	58.392	54.087
H	8.533	7.961
O + S + P	25.731	27.489
N	3.649	3.588
Asche	3.695	3.695
	100.000	96.820

Man sieht also, dass die Untersuchungsobjecte beträchtliche Kohlenstoff- und Wasserstoffquantitäten bei der Keimung verloren haben, während sie atmosphärischen Sauerstoff in bedeutender Menge aufnahmen [2]).

In neuerer Zeit habe ich eingehendere Untersuchungen über den Keimungsprocess fettreicher Samen ausgeführt, und ich gehe hier um so lieber etwas genauer auf dieselben ein, als mir dadurch Gelegenheit geboten wird, mancherlei über die bei Keimungsstudien in Anwendung zu bringenden Methoden zu bemerken [3]).

Handelt es sich darum, die Kohlensäurequantitäten, welche keimende Samen aushauchen, festzustellen, so verfährt man im Allgemeinen derartig, dass man einen entkohlensäuerten Luftstrom über die Untersuchungsobjecte hinleitet, und die von den Keimpflanzen ausgegebene Kohlensäure unter Benutzung von Kalilauge oder Barytwasser quantitativ bestimmt. Benutzt man Kalilauge als Absorptionsmittel für die Kohlensäure, so muss die Luft natürlich vor ihrem Eintritt in die Aetzkalilösung völlig vom Wasserdampf befreit werden. Versäumt man es nicht, die genügenden

---

1) Das fünfte Keimungsstadium war vollendet, wenn die Cotyledonen die Samenschalen abwarfen und grün zu werden begannen.

2) Fleury (vgl. Annl. de Chm. et de Phys., Ser. 4, T. 4) hat den Keimungsprocess der Samen des Ricinus, des Rapses, der süssen Mandeln und der Samen von Euphorbia lathyris verfolgt. Den Resultaten der Untersuchungen ist aber kein besonders hoher Werth beizulegen, da sich die Keimpflanzen entschieden nicht unter normalen Verhältnissen entwickelten.

3) Vgl. meine physiolog.-chem. Untersuchungen über die Keimung ölhaltiger Samen und über die Vegetation von Zea Mays. 1875. S. 10.

Vorsichtsmassregeln zu treffen, so liefert die Methode der Kohlensäurebestimmung unter Benutzung von Kalilauge übrigens genaue Resultate, und sie verdient namentlich dann Beachtung, wenn man mit kleinen Samenquantitäten experimentirt, und die abgeschiedenen Kohlensäurequantitäten in Folge dessen nur geringe sind. Für andere Fälle empfiehlt es sich, Barytwasser als Absorptionsflüssigkeit für die Kohlensäure zu benutzen, und zwar ist es entschieden am zweckmässigsten, die Kohlensäurebestimmungen dann durch Titriren des Barytwassers vorzunehmen [1]). Ich gehe nunmehr dazu über, das Verfahren, welches ich bei der Bestimmung der von keimenden Samen ausgehauchten Kohlensäuremengen in Anwendung brachte, genauer zu beschreiben.

Der Apparat, mit dem ich arbeitete, bestand zunächst aus einem grossen flachen Glasgefäss und einer Glasglocke von 3½ Liter Capacität. Die Glocke war oben tubulirt und konnte mittelst eines zweifach durchbohrten Kautschukkorkes verschlossen werden. Der Boden des flachen Glasgefässes war mit einer 2 Cm. hohen Quecksilberschicht bedeckt, um die Glocke auf diese Weise unten abzuschliessen. Auf dem Quecksilber schwamm das Gefäss mit den Samen, worauf wir weiter unten zurückkommen.

In die Bohrungen des Korkes der Glasglocke waren zwei Glasröhren, jede an ihrem einen Ende in einem rechten Winkel gebogen, eingeschoben. Die eine Röhre war dazu bestimmt, den keimenden Samen Luft zuzuführen, während die andere den Zweck hatte, die kohlensäurereiche Luft aus der Glocke fortzuleiten. Die Luft, welche in die Glocke eintrat, musste von ihrer Kohlensäure befreit werden, und dies, wie auch die Fixirung der von den Samen bei der Keimung producirten Kohlensäure, geschah mittelst Barytwassers.

Das Barytwasser befand sich in sogen. Barytröhren, jenen langen, mit einer Kugel an dem einen Ende und mit einer passenden Mündung für einen durchbohrten Kautschukkork am anderen Ende versehenen Glasapparaten, wie sie bei der Benutzung des Pettenkofer'schen Respirationsapparates zur Anwendung kommen. Die aus der Glocke austretende Luft passirte zwei Barytröhren; die erste wurde alle 24 Stunden durch eine neue ersetzt, die zweite dagegen nur dann, wenn das Barytwasser in derselben sich zu trüben begann. Waren die gesammten Apparate mit ge-

---

1) Die Titrirmethode ist von Henneberg (vgl. dessen neue Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer, 1870, S. 22) genauer beschrieben worden.

höriger Vorsicht zusammengesetzt, so wurde unter Anwendung des von Stammer construirten Tropfrespirators ein constanter Luftstrom durch dieselben geleitet [1]). Beim Titriren des Barytwassers habe ich mich der Oxalsäure oder des vierfach oxalsauren Kalis unter Zuhülfenahme von Rosolsäure bedient. Ich gehe nicht genauer auf das Detail ein, bemerke aber, dass die Methode sehr genaue Resultate liefert, da man noch 0.1—0.2 Mgrm. Kohlensäure titriren kann.

Das Samenmaterial, welches zur Verwendung kommen soll, muss sorgfältig vom Staube befreit werden. Es ist ferner von äusserster Wichtigkeit, nur vollkommen ausgebildete und gänzlich unbeschädigte Samen zur Untersuchung zu benutzen. Die Samen werden in ein Glas gebracht, mit wenig Wasser übergossen und das Gefäss mit den Untersuchungsobjecten unter die Glasglocke gestellt, um den Respirationsapparat nun sofort in Gang zu setzen. Haben die Samen gequollen, so öffnet man die Glocke, und bringt das Untersuchungsmaterial schnell auf eine Bimssteinplatte, die in einer etwas Wasser enthaltenden flachen Schale liegt [2]). Die Schale gelangt nun sogleich auf das Quecksilber, und man fährt mit dem Durchleiten von Luft durch den gesammten Apparat fort [3]) [4]).

---

1) Vgl. Stammer, Neues Handwörterbuch der Chemie. 1873. B. 1, S. 831.

2) Das Quellwasser dunstet man zweckmässig ein und fügt den mit etwas Wasser wieder aufgenommenen Rückstand nebst der Flüssigkeitsmenge, in welcher die Bimssteinplatte während des Respirationsversuchs lag, den Keimpflanzen beim Trocknen hinzu.

3) Bei der Ausführung meiner Untersuchungen erfuhr die Glasglocke, unter der die Samen keimten, an ihrem unteren Ende, wie bemerkt wurde, einen Abschluss durch Quecksilber. Unter Umständen dürfte es sich aber empfehlen, bei der Ausführung der Respirationsversuche in der Weise zu verfahren, wie Sachs (vgl. dessen Handbuch d. Experimentalphysiologie, S. 271) und Sachsse (vgl. dessen Abhandlung über einige chemische Vorgänge etc., S. 5) es thaten, d. h. die an ihrem unteren Rande abgeschliffene Glasglocke mit Hülfe einer geeigneten und von aussen aufzustreichenden Schmiere auf eine mattgeschliffene Glasplatte luftdicht aufzukitten. Sehr zweckmässig dürfte es auch sein, als Respirationsraum statt der Glasglocke einen sehr weiten Glascylinder zu verwenden, auf den oben und unten auf den Innenflächen platinirte Messingkappen aufgeschroben werden können. Die Messingkappe am oberen Ende des Cylinders müsste natürlich mit Vorrichtungen zur Aufnahme von Glasröhren versehen sein. Unter Umständen genügt es übrigens vollständig, einen Becherkolben mit horizontalem Boden als Respirationsraum zu benutzen und die gequollenen Samen ohne weiteres auf den Boden des Gefässes zu bringen. Es sei noch erwähnt, dass bei der Ausführung der Respirationsversuche stets gewisse Fehlerquellen zu berücksichtigen sind. Man vgl. darüber meine Abhandlung.

4) Ich bemerke hier bereits, dass die Glocke, unter der die Samen keimten,

Haben die Keimpflanzen den erwünschten Grad der Entwickelung erreicht, so werden sie von der Bimssteinplatte abgenommen und in einen Apparat gebracht, der die Bestimmung derjenigen Kohlensäurequantität, welche Keimpflanzen stets noch beim Trocknen verlieren, bequem ermöglicht [1]). Die ziemlich trockenen Untersuchungsobjecte kann man, wenn die Kohlensäureentwickelung beendet ist, zerreiben und auf dem Wasserbade oder in einem Trockenschranke bei niederer Temperatur von der noch vorhandenen Feuchtigkeit möglichst befreien. Das Keimpflanzenpulver bleibt, bis dasselbe den lufttrockenen Zustand angenommen hat, in einem lose bedeckten Gefässe stehen; man stellt das Gewicht der Keimungsproducte fest und nimmt Proben zu den Trockensubstanzbestimmungen. Es ist selbstverständlich, dass man bei der Ausführung von Untersuchungen über die Kohlensäureausgabe keimender Samen etc. häufig Veranlassung finden wird, nicht genau in der hier angedeuteten Weise zu verfahren; im Allgemeinen aber ist die bezeichnete Methode sehr zu empfehlen.

Ich habe unter anderem die Kohlensäureausgabe des keimenden Hanfes bestimmt, und eine meiner Versuchsreihen lieferte die folgenden Resultate:

5.9353 Grm. Hanffrüchte = 5.3335 Grm. Trocksubst. Tempt. etwa 22° C.

Versuchstag.	Producirte CO_2 in Mgrm.
1.	30.0
2.	56.7
3.	56.0
4.	59.7
5.	95.0
6.	129.0
7.	142.7
8.	146.3
9.	134.6
10.	145.7 [2])
	995.7 Mgrm. CO_2
	271.6 Mgrm. C.

bei der Ausführung meiner Untersuchungen stets mit schwarzen Tüchern umlegt wurde, so dass der Keimungsprocess bei Abschluss des Lichtes verlief.

1) Man vgl. meine Abhandlung.

2) Die Kohlensäure, welche das Barytwasser in der zweiten Barytröhre absorbirte, und ebenfalls diejenige, welche die Keimpflanzen noch beim Trocknen lieferten, ist hier mit berücksichtigt worden.

Bei der Ausführung meiner Untersuchungen über den Keimungsprocess des Hanfs liess ich die Untersuchungsobjecte entweder 7 Tage lang bei niederer, oder 10 Tage lang bei höherer Temperatur vegetiren. Die Respirationsversuche lieferten schliesslich die folgenden Resultate:

7 tägige Keimungsversuche bei etwa 18° C.

Versuchsreihe.	Abgeschiedener Kohlenstoff. %.	Zurückgebliebene Trockensubst. %.
1.	2.67	96.59
2.	2.48	96.79
3.	2.56	96.53
Mittel	2.57	96.64

10 tägige Keimungsversuche bei etwa 22° C.

Versuchsreihe.	Abgeschiedener Kohlenstoff. %.	Zurückgebliebene Trockensubst. %.
1.	5.01	—
2.	5.09	94.03
Mittel	5.05	94.03

Bei der elementaranalytischen Untersuchung der Früchte und der 7 Tage alten Keimpflanzen wurden die folgenden Resultate erhalten:

	Früchte.	Keimpflanzen.
C	57.27 %	56.29 %
H	8.29 „	8.10 „
N	4.01 „	3.96 „
O	25.93 „	26.99 „
Asche	4.50 „	4.66 „
	100.00	100.00

100 Thl. Hanffrüchtetrockensubstanz hinterliessen nach 7 tägigem Keimen im Mittel 96.91 Thl. Trockensubstanz. Unter Zugrundelegung dieses Werthes und unter Berücksichtigung derjenigen Werthe, welche für den procentischen Gehalt der Früchte und Keimungsproducte an Kohlenstoff festgestellt wurden, berechnet sich der Kohlenstoffverlust der Untersuchungsobjecte während des ersten Keimungsstadiums zu 2.72 %. Die Respirationsversuche ergaben einen Verlust von 2.57 % Kohlenstoff. Die Uebereinstimmung der beiden Werthe ist also als eine sehr befriedigende zu bezeichnen, und wir müssen zu dem Schlusse gelangen, dass der sämmtliche Kohlenstoff, den keimende Hanffrüchte abgeben, in Form von Kohlensäure expirirt wird.

Im Mittel haben 100 Grm. der Früchte während des ersten

Keimungsstadiums also 2.65 Grm. Kohlenstoff verloren. Der Wasserstoffverlust betrug 0.44 Grm. Dagegen enthielt die 100 Grm. Früchte entsprechende Quantität der Keimungsproducte 0.23 Grm. Sauerstoff mehr als die Früchte selbst.

Ich habe ferner versucht, die Sauerstoffmenge, welche Hanffrüchte während der ersten Keimungsperiode aus der umgebenden Luft absorbiren, direct zu bestimmen [1]). 100 Grm. Früchte absorbirten nach den Resultaten dieser Untersuchungen in 7 Tagen bei etwa 18° C. 13.98 Grm. Sauerstoff. Berechnet man die Sauerstoffmenge, welche 2.65 Grm. Kohlenstoff und 0.44 Grm. Wasserstoff zur Oxydation bedürfen, um Kohlensäure und Wasser zu bilden, so findet man dieselbe = 10.59 Grm.; hierzu kommen noch die erwähnten 0.23 Grm. Sauerstoff. Theoretisch müsste nun der für die aufgenommene Sauerstoffmenge direct festgestellte Werth gleich dem durch Berechnung gefundenen sein. Wenn sich hier eine Differenz herausstellt, in dem Sinne nämlich, dass nach den directen Versuchen 100 Grm. Früchte beim Keimen etwa 3 Grm. Sauerstoff mehr absorbirten als die Rechnung verlangt, so ist zu bedenken, dass wir es mit den Resultaten zweier nach ganz verschiedenen Methoden angestellten Beobachtungen zu thun haben. Auf alle Fälle geht aber aus den gesammten Untersuchungen hervor, dass der von den Hanffrüchten bei der Keimung aufgenommene Sauerstoff nicht nur zur Kohlensäure- und Wasserproduction Verwendung findet, sondern dass ein erhebliches Quantum des Sauerstoffs zur Bildung neuer organischer Körper verbraucht wird, und dass die Keimpflanzen in Folge dessen absolut reicher an Sauerstoff als die ruhenden Früchte sein müssen.

Auch Laskovsky [2]) hat bei der Ausführung seiner Untersuchungen über den Keimungsprocess der Kürbissamen gefunden, dass die Entwickelung des Embryo derselben mit einer energischen Sauerstoffaufnahme verbunden ist. Dies geht deutlich aus folgenden Angaben hervor:

---

1) Die Methode, deren ich mich bei der Ausführung dieser Untersuchungen bediente, liefert nicht absolut genaue, wohl aber brauchbare Resultate; sie ist übrigens noch der Vervollkommnung fähig.

2) Vgl. Laskovsky, Versuchsstationen. B. 17, S. 219.

Versuchsreihe bei einer Temperatur von [1])	Trcksbst. v. der Keimung. Mgrm.	Trocksbst. n. der Keimung. Mgrm.	Trockensbst.-verlust. %.	Verlust. C. Mgrm.	Verlust. H. Mgrm.	Gewinn. O. Mgrm.
16°	7081	6997	98.22	85	+ 2	— 20
16—25°	6947	6794	97.07	385	— 42	+ 265
16°	6838	6416	92.23	600	88	263
16—22°	6361	6081	94.59	533	61	316
25°	6011	5892	97.28	239	39	159
25—32°	7060	6646	95.32	601	76	249
25—28°	5909	5575	93.67	554	94	319 [2])

Sechstes Capitel.

Die Abhängigkeit der Athmung von äusseren Verhältnissen.

Es lässt sich a priori behaupten, dass die Intensität der Athmung von verschiedenen äusseren Bedingungen abhängig sein wird; indessen nicht immer wird der Sinn dieser Abhängigkeit von vornherein klar erkennbar sein. Wenn man z. B. ohne weiteres annehmen darf, dass die Sauerstoffaufnahme, sowie die Kohlensäure- und Wasserabgabe bei höherer Temperatur lebhafter erfolgen werden als bei niederer, so sind die Fragen nach der Beziehung zwischen der Beleuchtung und dem Respirationsprocesse nicht unmittelbar zu entscheiden, denn es liegt offenbar die Möglichkeit vor, dass das Licht gar keinen Einfluss auf den Athmungsvorgang ausübt oder die Intensität desselben steigert, respect. vermindert. Erst das Experiment kann die auftauchenden Probleme ihrer Lösung entgegenführen.

Ich habe constatiren können, dass die Samen von Cucurbita Pepo und Pisum sativum im lufttrockenen Zustande nicht befähigt

---

1) Die Dauer der einzelnen Versuche war eine verschiedene.

2) Bei einer aufmerksamen Durchsicht der Arbeit Laskovsky's findet man, dass die Resultate derselben ebenfalls die Richtigkeit unserer Anschauung, wonach Keimpflanzen unter normalen Verhältnissen nur Kohlensäure und Wasser aushauchen, bestätigen. Es ist noch zu bemerken, dass der genannte Forscher bei der Ausführung seiner Untersuchungen eine Methode zur directen Bestimmung des bei der Keimung producirten Wassers anwandte, die ziemlich genaue Resultate lieferte und gewiss noch der Vervollkommnung fähig ist.

sind, Sauerstoff aufzunehmen[1]). Der Athmungsprocess beginnt erst, wenn die Samen ein gewisses Wasserquantum von aussen aufgenommen haben, und es ist zu vermuthen, dass der Respirationsprocess bei höherem Wassergehalt der Samen und Keimpflanzen intensiver vor sich geht als bei geringerem.

In der That habe ich die Richtigkeit dieser Voraussetzung kürzlich durch die Ausführung einiger Experimente bestätigt gefunden. 52 Keimpflanzen von Pisum sativum, welche sich 6 Tage lang bei Ausschluss des Lichtes entwickelt hatten, lieferten z. B. im Dunkeln in einem geeigneten Respirationsapparate bei 20.7° C. in der Stunde 0.009 Grm. CO_2. Die benutzten Erbsenkeimlinge verweilten nun 4 Tage lang, ohne mit neuen Wassermengen in Berührung zu gelangen, in flachen Glasgefässen. Sie lieferten dann bei 20.9° C. in der Stunde nur noch 0.0057 Grm. CO_2. Jetzt gelangten die Keimlinge 4 Stunden lang mit Wasser in Berührung. Bei 20.8° C. entwickelten sie in der Stunde nunmehr 0.009 Grm. CO_2.

Der Einfluss der Temperatur auf den Verlauf der Athmung bei der Keimung ist, wie bereits angedeutet wurde, ein sehr bedeutender[2]), aber erst in neuester Zeit hat man damit begonnen, die bezüglichen Erscheinungen eingehender zu studiren[3]).

Die Schwierigkeiten, welche auftauchen, wenn es darauf ankommt, die Abhängigkeit des Athmungsprocesses der Keimpflanzen von der Temperatur in detaillirter Weise auf experimentellem Wege festzustellen, sind nicht zu unterschätzende.

Cultivirt man die Keimpflanzen längere Zeit hindurch in einem Thermostaten, so ist es selbst unter diesen Verhältnissen nicht leicht, die Temperatur während dieser Periode durchaus constant zu erhalten, obgleich dies unter vielen Umständen durchaus nothwendig wird. Wenn man dagegen, um die soeben berührte Schwierigkeit möglichst zu vermeiden, die Untersuchungsobjecte den Versuchsbedingungen nur kurze Zeit lang exponirt, so werden die Fehlerquellen, mit denen jede experimentelle Untersuchung naturgemäss verbunden ist, falls man nicht äusserst exacte Methoden

---

1) Vgl. Detmer, Forschungen auf dem Gebiete d. Agriculturphysik. Herausgegeben von Wollny. B. 1, H. 2. Separatabdruck, S. 17.

2) Von denjenigen Momenten, welche die Temperatur der Keimpflanzen beeinflussen, wird später die Rede sein.

3) Dass die Pflanzenathmung überhaupt von der Temperatur abhängig ist, weiss man bereits lange. Vgl. Saussure, Rech. chm., deutsch von Voigt. S. 59.

in Anwendung bringt, das Beobachtungsresultat leicht in sehr bedeutsamer Weise beeinflussen.

Die ersten gründlichen Studien über den Einfluss verschiedener Temperaturen auf den Athmungsprocess der Keimpflanzen sind von A. v. Wolkoff und Adolf Mayer ausgeführt worden[1]). Das Princip der von diesen Forschern benutzten und zu bedeutender Vollkommenheit ausgebildeten Methode besteht darin, dass die genannten Forscher den Sauerstoff volumetrisch bestimmten, den Keimpflanzen in bestimmter Zeit zu absorbiren vermögen. Die Experimentatoren haben den Apparat, den sie construirten, genau beschrieben und die Fehlerquellen, die bei der Handhabung desselben zu berücksichtigen sind, eingehend besprochen. Wir bemerken, dass es mit Hülfe des Apparats von Wolkoff und Mayer möglich ist, selbst sehr kleine von den Keimpflanzen absorbirte Sauerstoffmengen zu bestimmen, und dass der gesammte Respirationsapparat bei der Ausführung der Untersuchungen unter Wasser getaucht wurde, um eine bessere Regulirung der Temperaturverhältnisse zu ermöglichen.

Eine Beobachtungsreihe wurde z. B. mit Keimpflanzen von Tropaeolum Majus durchgeführt; dieselben zeigten bei den in der nachstehenden Tabelle angegebenen Temperaturen die folgenden Athmungsintensitäten:

	Zeit.	Gasvolumen.	Abnahme absolut.	Abnahme in der Stunde.	Durchschnitts-temperatur.
12. März	11.35	57.07 Ccm.			
	1.05	56.33 „	0.74 Ccm.	0.53	16.2° C.
	2.10	55.62 „			
	2.30	55.36 „	0.26 „	0.78	25.4
	2.50	55.11 „	0.25 „	0.75	
	3.10	54.85 „	0.26 „	0.76	
	4.—	53.98 „			
	4.40	53.31 „	0.67 „	1.00	32.8
	5.—	52.99 „	0.32 „	0.96	
	5.45	52.22 „	0.77 „	1.03	
	6.30	52.08 „			
	8.10	51.22 „	0.88 „	0.52	17.8
	8.30	51.06 „	0.16 „	0.48	

Ein zweiter Versuch mit 5 unverletzten Keimpflanzen von Tropaeolum Majus lieferte die folgenden Resultate:

---

1) Vgl. v. Wolkoff und Adolf Mayer: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 3. S. 481.

Temperatur in ° C.	Stündliche Sauerstoffaufnahme in Ccm.
22.4	0.60
27.0	0.77
30.5	0.76
30.0	0.77
35.0	1.04
38.2	0.91.

Aus diesen und ferneren Beobachtungsreihen Wolkoff's und Mayer's ergiebt sich, dass die Athmung der Keimpflanzen (gemessen an der Sauerstoffaufnahme derselben) bei höherer Temperatur energischer als bei niederer erfolgt. Die vorliegenden Untersuchungen erlauben sogar, eine directe Proportionalität zwischen der Athmungsintensität und der Temperatur zu constatiren. Andere Beobachtungen Mayer's haben zu dem nämlichen Resultate geführt [1]). 4 Weizenkeimpflanzen, deren Plumula durchschnittlich eine Länge von 44 Mm. besass, wurden in den Respirationsapparat eingeführt.

Temperatur in ° C.	Stündliche Sauerstoffaufnahme in Ccm.
15.6	0.10
15.6	0.10
4.4	0.038
9.8	0.067
9.8	0.067
15.4	0.088
0.3	0.022
0.1	0.016
0.1	0.016.

Man ersieht also aus diesen Angaben, dass die Athmung der Weizenkeimpflanzen bei Temperaturen, die wenig über dem Gefrierpunkte des Wassers liegen, keine ganz unbedeutende ist. Mit steigender Temperatur wird die Athmung immer energischer, und es lässt sich, wie bereits bemerkt, nachweisen, dass die Athmungsintensität der Temperatur direct proportional fortschreitet, soweit eine derartige Relation bei physiologischen Processen überhaupt festgestellt werden kann [2]). Beachtenswerth ist es aber, dass nach

1) Vgl. A. Mayer, Versuchsstationen. B. 19. S. 340.

2) Ueber die Art und Weise, in der es möglich ist, den Beweis von der Proportionalität zwischen der Athmung und der Temperatur zu führen, sind Mayer's citirte Abhandlungen zu vergleichen. Da der Athmungsprocess nämlich selbst bei Temperaturen unter 0° C. noch nicht völlig erlischt, so ist der in Rede stehende Beweis nicht ohne eingehendere Discussion der Verhältnisse zu führen.

einigen Beobachtungen Wolkoff's und Mayer's diese Proportionalität verloren geht, wenn eine bestimmte Temperatur überschritten wird. Diese Temperatur fällt aber, was ein besonderes Interesse verdient, nicht mit dem Optimum für das Längenwachsthum zusammen, sondern sie liegt weit höher, und bedingt eine Verminderung der Athmungsintensität der Keimpflanzen. Zwar bedarf die hier berührte Erscheinung noch eingehenderer Untersuchung, aber so viel lässt sich vermuthen, dass die Abnahme der Athmungsintensität bei zu sehr gesteigerter Temperatur mit dem beginnenden Absterben der Untersuchungsobjecte im Zusammenhange steht. In der That haben Wolkoff und Mayer beobachtet, dass todte Pflanzentheile weit weniger Sauerstoff als lebende aufzunehmen vermögen. 15 Wurzeln von Vicia Faba, die eine Länge von etwa 40 Mm. besassen und durch Eintauchen in Wasser von 60° C. getödtet worden waren, absorbirten pro Stunde bei etwa 20° C. 0.06 Cc. Sauerstoff. 15 lebende Wurzeln von gleicher Entwickelung nahmen in der Stunde unter denselben Bedingungen 0.60 Cc., also zehnmal mehr Sauerstoff, als die getödteten auf[1]).

Es darf a priori erwartet werden, dass die Kohlensäure- und Wasserabscheidung der Keimpflanzen wie die Sauerstoffaufnahme derselben bei höherer Temperatur lebhafter erfolgen wird, als bei niederer. Ob aber zwischen der Kohlensäure- und Wasserabgabe und der Temperatur dieselben einfachen Beziehungen wie zwischen der letzteren und der Intensität der Sauerstoffaufnahme bestehen, ist von vornherein fraglich.

Es verdient deshalb bemerkt zu werden, dass Debérain und Moissan[2]) kürzlich bei der Untersuchung des Athmungsprocesses verschiedener Blätter zu Resultaten gelangten, aus denen hervorgeht, dass nicht immer eine directe Proportionalität zwischen der Intensität der Kohlensäureexpiration und der Temperatur zu bestehen scheint. Tabakblätter sollen nach Debérain und Moissan z. B. bei 40° C. die 30—40fache Kohlensäuremenge wie bei 7° C. ausgeben, während bei der Existenz einer directen Proportionalität zwischen der Kohlensäureabgabe und der Temperatur bei 40° C. nur 5—6mal mehr Kohlensäure als bei 7° C. hätte ausgehaucht werden dürfen.

---

1) Im Anschluss an das hier Gesagte verweisen wir noch auf einige Beobachtungen, die Wolkoff und Mayer über den Einfluss von Temperaturschwankungen auf den Athmungsprocess anstellten.

2) Vgl. Debérain, Compt. rend. T. 78. p. 1112.

Dass die Temperatur überhaupt von Einfluss auf die Kohlensäurequantität ist, die von keimenden Pflanzen abgeschieden wird, kann leicht experimentell gezeigt werden. Ich habe z. B. in der früher angegebenen Weise einige bezügliche Untersuchungen mit Rapskeimlingen vorgenommen [1]). Je 5.7043 Grm. lufttrockener Samen wurden bei verschiedenen Temperaturen den Keimungsbedingungen ausgesetzt, um die in je 24 Stunden ausgehauchten Kohlensäurequantitäten zu bestimmen.

Temperatur etwa

18° C.	22° C.
28.7 Mgrm. CO_2	29.0 Mgrm. CO_2
40.7 " "	59.3 " "
115.7 " "	120.3 " "
194.0 " "	388.0 " "
379.1 Mgrm. CO_2	596.6 Mgrm. CO_2.

Genauere Untersuchungen über die Relationen zwischen der Temperatur und der Kohlensäureabgabe von Keimpflanzen sind neuerdings von Pedersen ausgeführt worden [2]). Nach den Angaben desselben besteht bei der keimenden Gerste niemals eine Proportionalität zwischen der Temperatur und der Gasausscheidung, denn bei niedrigen Temperaturen soll die Entwickelung der Kohlensäure sehr langsam, bei Wärmegraden über 15° C. aber verhältnissmässig sehr rasch zunehmen. Pedersen theilt z. B. die folgenden Angaben mit:

Temperatur.	Menge der in einer Stunde gebildeten CO_2.
4.5° C.	9.5 Milgrm.
8.1° "	10.8 "
15.3° "	16.5 "
18.0° "	24.3 "

Mit den Ergebnissen dieser Beobachtungen stehen die Resultate gewisser Untersuchungen Rischawi's, welche derselbe unter Benutzung etiolirter Weizenkeimlinge anstellte, nicht im Einklang [3]). Nach Rischawi besteht nämlich bis zu einem gewissen Grade eine genaue Proportionalität zwischen der Temperatur und der Intensität der Kohlensäureausgabe des keimenden Weizens, und nur bei recht hoher Temperatur wird die Kohlensäureexpiration

1) Vgl. Detmer: Physiologisch-chemische Untersuchungen etc. S. 23.

2) Vgl. Pedersen, Mittheilungen aus dem Carlsbader Laboratorium. Wien, 1878. H. 1. S. 59.

3) Vgl. Rischawi, Just's botan. Jahresbericht. 5. Jahrgang. S. 721.

relativ bedeutend. Eine von Rischawi durchgeführte Versuchsreihe liefere z. B. die folgenden Ergebnisse:

Temperatur.	Menge der in einer Stunde gebildeten CO_2.
5° C.	3.30 Millgrm.
10° „	5.28 „
15° „	9.90 „
20° „	12.54 „
25° „	17.82 „
30° „	22.04 „
35° „	28.38 „
40° „	37.60 „

Die Existenz einer directen Proportionalität zwischen der Intensität der Kohlensäureausgabe der Keimpflanzen und der Temperatur ist noch nicht sicher constatirt worden. Zwar scheint sich dieselbe bei gewissen Objecten und innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen geltend zu machen, aber die Forschungen über das in Rede stehende Verhältniss sind noch so wenig abgeschlossen, dass die bis jetzt gewonnenen Resultate mit Vorsicht aufzunehmen sind [1]). Selbstverständlich würde es grosses Interesse besitzen, die Beziehungen zwischen der Temperatur und der Intensität der Kohlensäureproduction seitens der Keimpflanzen genauer festzustellen, und zumal dürfte es wichtig sein, derartige Untersuchungen mit Beobachtungen über die Energie der Sauerstoffabsorption zu verbinden. Würde man z. B. für bestimmte Keimpflanzen eine directe Proportionalität zwischen der Sauerstoffaufnahme und verschiedenen Temperaturen ermitteln, aber feststellen können, dass die Kohlensäureabgabe bei höherer Temperatur relativ bedeutender als bei niederer wäre, so hätte man damit das Auftreten innerer Athmung bei höherer Temperatur für die in Untersuchung genommenen Keimpflanzen constatirt etc.

Wenn es sicher ist, dass die Dissociationsprocesse der Lebenseinheiten des Plasma sowie die Oxydationsprocesse, welche sich bei der Keimung geltend machen, bei höherer Temperatur energischer als bei niederer erfolgen, so muss der Trockensubstanzverlust der Keimpflanzen in einer bestimmten Zeit unter der ersteren Bedingung ein bedeutenderer sein als unter der letzteren. In der That ist diese Voraussetzung durchaus richtig. Ich habe speciell für die Keimung der Raps- und Erbsensamen constatiren

1) Man vgl. die Angaben Laskovsky's (Versuchsstationen, B. 17. S. 219), A. Mayer's (Versuchsstationen, B. 19, S. 348) und Borodin's (botanischer Jahresbericht, 3. Jahrgang, S. 880).

können, dass der Trockensubstanzverlust der Untersuchungsobjecte (bezogen auf dieselbe Zeit) bei höherer Temperatur weit erheblicher ist als bei niederer.

Was die Beziehungen zwischen der Intensität der Athmung und den Beleuchtungsverhältnissen anbelangt, so sind dieselben erst neuerdings schärfer ins Auge gefasst worden. Zunächst ist es klar, dass eine indirecte Beziehung zwischen den Beleuchtungsverhältnissen und der Athmung der Pflanzen auf alle Fälle besteht, denn wenn man die Athmungsintensität grüner Pflanzentheile, die längere Zeit im Finstern verweilt haben, bei Ausschluss des Lichtes ermittelt, und die Untersuchungsobjecte, nachdem sie zunächst einige Zeit lang dem Licht ausgesetzt gewesen, abermals auf ihre Athmungsintensität im Dunkeln prüft, so wird man im letzteren Falle, weil durch den Assimilationsprocess neue Quantitäten verbrennlicher Substanz gebildet worden sind, grössere Werthe für die Energie der Sauerstoffabsorption oder der Kohlensäurexpiration erhalten. Im Allgemeinen muss ja ein Pflanzentheil um so intensiver athmen, je reicher derselbe an stickstofffreien Verbindungen ist, denn die Regeneration der Lebenseinheiten des Plasma, respect. die Dissociation derselben erfolgt um so lebhafter, je beträchtlicher die zur Disposition stehenden Quantitäten stickstofffreier Körper sind.

Eine ganz andere Frage ist diese, ob das Licht einen directen Einfluss auf den Athmungsprocess geltend macht, d. h. ob gewisse in Folge der Dissociation der Lebenseinheiten des Plasma stattfindende Vorgänge bei Lichtzutritt lebhafter oder langsamer als im Finstern erfolgen. Diese Frage ist um so bedeutungsvoller, als sie zu denjenigen Problemen, welche dem Physiologen bei der Behandlung der Wachsthumserscheinungen entgegentreten, in genauester Beziehung steht. Denn es ist ja bekannt, dass das Wachsthum meistens durch das Licht retardirend beeinflusst wird, und dass Wachsthum sowie Athmung zwei Processe repräsentiren, die ohne Zweifel in inniger Relation zu einander stehen.

Der experimentellen Behandlung der hier aufgeworfenen Frage stellen sich nun erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Namentlich ist zu beachten, dass es durchaus erforderlich ist, die Temperaturverhältnisse bei den im Finstern einerseits und andererseits bei Lichtzutritt durchzuführenden Versuchsreihen constant zu erhalten, und ferner darf nicht übersehen werden, dass man im Allgemeinen an die Benutzung bestimmter Untersuchungsobjecte gebunden

ist. Ergrünte Pflanzen eignen sich zu den Experimenten über den Einfluss des Lichts auf den Athmungsprocess weniger, denn diese sind ja im Stande, bei Lichtzutritt zu assimiliren, und man erhält in Folge dessen keine reinen Resultate[1]). Ebenso eignen sich etiolinreiche Keimlinge, zumal aus Gründen, die Wiesner[2]) hervorgehoben hat, nicht wohl zu den in Rede stehenden Untersuchungen.

Für das Studium der Beziehungen zwischen den Beleuchtungsverhältnissen und der Athmung wird man am zweckmässigsten sehr etiolinarme Keimpflanzen, oder solche Pflanzentheile, die, wie es z. B. bei Wurzeln, Blüthen und vielen Früchten der Fall ist, gar kein Etiolin oder Chlorophyll enthalten, in Anwendung bringen. Mit derartigen Pflanzentheilen experimentirten sowohl Wolkoff und Mayer[3]) als auch ich.

Die beiden zuerst genannten Forscher untersuchten den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf die Intensität der Sauerstoffabsorption seitens einiger Keimpflanzen, und während ihre ersten Experimente auf eine Beschleunigung der Athmung durch das Licht hinzudeuten schienen, haben fernere Beobachtungen ergeben, dass die Athmungsintensität der Pflanzen selbst im directen Sonnenlicht, wenn die Temperaturverhältnisse nur gehörig regulirt werden, keine grössere als im Dunkeln ist. Auch die von mir über den Einfluss des Lichts auf die Kohlensäureexpiration von Keimpflanzen, Pilzen, Blüthentheilen und Monotropa Hypopitys durchgeführten Versuche, welche übrigens noch nicht zum völligen Abschluss gebracht worden sind, lassen erkennen, dass das Licht von gewöhnlicher Intensität von keinem directen Einfluss auf die Athmungsintensität der Pflanzen ist.

Die Vermuthung liegt nahe, dass der Keimungsprocess eine Abhängigkeit von dem Sauerstoffgehalte der Luft zeigen wird. In der That ist dies der Fall, und wenngleich einige ältere Angaben über den in Rede stehenden Gegenstand vorliegen[4]), so hat man demselben doch erst in neuerer Zeit besondere Aufmerksamkeit zugewendet.

---

1) Will man dennoch mit ergrünten Pflanzen experimentiren, so kann man die von Godlewski benutzte Methode (vgl. botan. Zeitung, 1879, Nr. 6) in Anwendung bringen.

2) Vgl. Wiesner: Die Entstehung des Chlorophylls. Wien 1877, S. 111.

3) Vgl. Wolkoff und Mayer: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 3. S. 516.

4) Man vgl. z. B. Saussure: Rech. chm., deutsch v. Voigt. S. 10.

Böhm[1]) liess Samen der Bohne in reinem Sauerstoff keimen und sorgte für die rasche Entfernung der producirten Kohlensäure. Die Keimpflanzen zeigten bald ein kränkliches Aussehen und gingen, an die freie Luft gebracht, oft zu Grunde[2]). Weniger nachtheilig als auf die Bohnenpflanzen wirkte der Sauerstoff auf die Keimpflanzen von Lepidium sativum, Linum usitatissimum etc. ein. Die Keimpflanzen von Triticum vulgare, Secale cereale, Hordeum vulgare und Avena sativa scheinen wenig empfindlich gegen reinen Sauerstoff unter gewöhnlichem Druck zu sein, dagegen zeigte sich, dass die Entwickelung der Keime von Zea Mays und Pisum sativum in reinem Sauerstoff über das erste Stadium der Wurzel- und Stengelbildung nicht hinauskam. Die Samen von Phaseolus multiflorus entwickelten sich in einer Atmosphäre, welche 90 % Sauerstoff und 10 % Stickstoff enthielt, allerdings etwas weiter als in reinem Sauerstoff, aber keineswegs trat ein erheblicher Unterschied hervor.

In einer Atmosphäre, welche aus 23 % Sauerstoff und 77 % Wasserstoff bestand, entwickelten sich Bohnenkeimlinge ganz in derselben Weise wie in gewöhnlicher atmosphärischer Luft[3]).

Man sollte meinen, dass der Respirationsprocess der Keimpflanzen in reinem Sauerstoff in wesentlich anderer Weise wie in atmosphärischer Luft verliefe. Einige Beobachter wollen in der That gewisse Unterschiede constatirt haben; indessen die neueren Untersuchungen von Böhm[4]) und namentlich diejenigen Rischawi's[5]) haben gezeigt, dass derartige Differenzen wenigstens nicht in allen Fällen existiren[6]).

Der zuletzt genannte Forscher leitete z. B. über Keimlinge von Vicia Faba bei 21—23° C. zunächst entkohlensäuerte Luft, dann einen Strom reinen Sauerstoffs, darauf wieder Luft etc., und

1) Vgl. Böhm, Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. zu Wien. B. 68. S. 1873.

2) Aehnliche Beobachtungen machten Debérain und Landrin. Annl. d. sc. natur. Botanique. Ser. 5. T. 19. p. 358.

3) Wenn Keimpflanzen sich in einem Gasgemisch befinden, welches neben Sauerstoff beträchtlichere Kohlensäurequantitäten enthält, so wird die Entwickelung der Untersuchungsobjecte nach Saussure und Debérain in ganz erheblicher Weise beeinträchtigt.

4) Vgl. Böhm's bereits citirte Abhandlung.

5) Vgl. Rischawi, Versuchsstationen. B. 19. S. 336.

6) Natürlich kann die Athmung in reinem Sauerstoff und atmosphärischer Luft nur so lange in derselben Weise verlaufen, als die Entwickelung der Keimpflanzen im reinen Sauerstoff keine wesentliche Beeinträchtigung erlitten hat.

gelangte bei der Bestimmung der von den Untersuchungsobjecten producirten Kohlensäure zu den folgenden Ergebnissen:

In einer Stunde producirte CO_2 in Mlgrm.

In atmosphärischer Luft	26.40
„ reinem Sauerstoff	24.42
„ atmosphärischer Luft	24.42
„ reinem Sauerstoff	23.76
„ atmosphärischer Luft	24.42
„ reinem Sauerstoff	25.65

Aehnliche Resultate wurden erhalten, wenn die Untersuchungen nicht bei 21—23° C., sondern bei Temperaturen von 2, 3, 19 oder 30° C. vorgenommen wurden. Die Bohnen hauchten in der reinen Sauerstoffatmosphäre stets fast genau die nämliche Kohlensäurequantität wie in atmosphärischer Luft aus.

Zu der früher angeführten Beobachtung, dass die Keimung in einer unter gewöhnlichem Druck stehenden reinen Sauerstoffatmosphäre eine bedeutende Störung erfährt, steht eine andere Thatsache in genauer Beziehung, nämlich diese, dass der Keimungsprocess in einer unter höherem Druck stehenden Atmosphäre gewöhnlicher Luft wesentlich beeinträchtigt wird. Bert[1]) hat bei der Ausführung seiner interessanten Untersuchungen gefunden, dass die Keimung in einer unter 4—5 Atmosphären Druck stehenden Luft in ganz ähnlicher Weise wie unter normalen Verhältnissen verläuft[2]). Wurden aber Gerstenkörner z. B. bei 8 Atmosphären Druck den Keimungsbedingungen ausgesetzt, so brach nur das Würzelchen hervor; die Plumula entwickelte sich nicht. Bei 10 Atmosphären Druck hörte die Keimung der Gerste fast vollkommen auf; Kressesamen vermochten sich durchaus nicht mehr zu entwickeln[3]). Wurden in vollem Wachsthum begriffene Gersten- oder Kressepflanzen höherem Druck ausgesetzt, so hörte die Entwickelung der Untersuchungsobjecte alsbald auf und sie starben nach kurzer Zeit.

Handelt es sich darum, die hier erwähnten merkwürdigen Erscheinungen zu erklären, so ist vor allen Dingen die Frage auf-

1) Vgl. Bert, Versuchsstationen, B. 17, S. 117 und Compt. rend. T. 76, p. 1493.

2) Es ist zu bemerken, dass die Luft bei der Ausführung der Untersuchungen, um den nachtheiligen Einfluss der Kohlensäure auf die Keimpflanzen zu beseitigen, oft erneuert wurde.

3) Die Gerstenkörner, welche hohem Druck ausgesetzt gewesen waren, erwiesen sich als todt. Die Kressesamen dagegen vermochten nach Aufhebung des Drucks unter normalen Verhältnissen, allerdings mit bedeutender Verzögerung, zu keimen.

zuwerfen, ob der Luftdruck an sich im Stande ist, die Entwickelung der Pflanzen zu behindern, oder ob der gesteigerte Partialdruck des Sauerstoffs diese Wirkung hervorbringt. Bert brachte Samen in ein aus 90 % Sauerstoff und 10 % Stickstoff bestehendes Gasgemisch und setzte dasselbe einem Druck von 2 Atmosphären aus. Die Samen verhielten sich unter diesen Bedingungen derartig, wie in gewöhnlicher Luft, die unter einem Druck von 9 Atmosphären stand, d. h. sie entwickelten sich nicht oder sehr kümmerlich. Daraus folgt, dass der vegetabilische Organismus in erster Linie einen zu bedeutenden Partialdruck des Sauerstoffs nicht vertragen kann. Vor der Hand sind wir aber, dies ist zu betonen, durchaus nicht über die Ursache dieser Erscheinung unterrichtet.

Die nachtheilige Wirkung des gesteigerten Luftdrucks auf die Pflanzen macht sich, wie wir gesehen haben, erst geltend, wenn der Druck ein bedeutenderer geworden ist. Daraus ergiebt sich, dass die Variationen des Luftdrucks in der Natur keinen nachweisbaren Einfluss auf das Leben der Pflanzen ausüben.

Ferner setzte Bert Samen den Keimungsbedingungen einerseits unter gewöhnlichen Verhältnissen, andererseits bei vermindertem Luftdruck aus. Ein deutlicher Unterschied in der Keimung begann sich von einem Druck von 50 Cm. an zu zeigen. Bei einem Versuche mit Gerste wurden die folgenden Resultate erhalten:

Luftdruck.	Von je 90 Gerstenkörnern waren in 5 Tagen gekeimt.	Länge der Keimlinge in Cm.
Gewöhnlicher	76 Stück	10
50 Cm.	36 „	8
25 „	25 „	5.

Die untere Druckgrenze, bei der die Keimung in gewöhnlicher Luft sich vollziehen kann, ist für die Kresse etwa 12 Cm. und für die Gerste ungefähr 6 Cm. Bei 4 Cm. Druck keimt kein Samen mehr. Der verminderte Luftdruck tödtet die Samen aber nicht; vielmehr keimen dieselben unter normalen Verhältnissen leicht.

Werden die Samen den Keimungsbedingungen nicht in atmosphärischer Luft, sondern in reinem Sauerstoff ausgesetzt, so tritt die Keimung noch bei einer Verminderung des Drucks auf 4 Cm. ein [1]). In atmosphärischer Luft, die unter einem Druck von 4 Cm. steht, kann die Keimung also nicht eintreten, weil der Partialdruck des Sauerstoffs unter diesen Verhältnissen ein zu geringer ist.

---

1) Man vgl. auch Böhm (Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. in Wien, B 68, 1873).

Schliesslich ist hier noch darauf hinzuweisen, dass Verletzungen, welche Keimpflanzen erfahren, oft von wesentlichem Einfluss auf den Verlauf der Athmung sind. Wenn man Wurzeln oder Blätter von Keimpflanzen abschneidet und die Athmung dieser isolirten Organe untersucht, so zeigt sich, dass dieselbe alsbald sehr schwach wird. Diese Erscheinung erklärt sich sehr einfach unter Berücksichtigung des Umstandes, dass die Wurzeln etc. ja darauf angewiesen sind, das in den Reservestoffbehältern aufgespeicherte Material zu empfangen. Die isolirten Organe können also nur so lange eine intensivere Athmung unterhalten, als sie noch einen grösseren Vorrath an plastischen Substanzen führen. Im Zusammenhange mit den soeben berührten Verhältnissen steht die Thatsache, dass ihrer Cotyledonen beraubte Keimpflanzen und die Cotyledonen im isolirten Zustande eine Gesammtathmung unterhalten, die nicht so intensiv wie diejenige der unverletzten Keimpflanzen ist. Nach Wolkoff und Mayer[1]) verbrauchten z. B. unversehrte Keimpflanzen von Tropaeolum Majus stündlich bei 16° C. 0.12 Ccm. und bei 17.7° C. 0.14 Ccm. Sauerstoff, während die ihrer Cotyledonen beraubten Keimlinge in der Stunde bei 16° C. 0.025 Ccm. und bei 18° C. 0.035 Ccm. Sauerstoff absorbirten. Die Cotyledonen für sich athmeten nur sehr wenig lebhafter als die zuletzterwähnten Untersuchungsobjecte, und man sieht also, dass, wenn man die für die Athmung der ihrer Cotyledonen beraubten Keimpflanzen gewonnenen Zahlen verdoppelt, Werthe erhalten werden, die noch immer bedeutend hinter den für die Athmung der unverletzten Keimpflanzen gefundenen zurückstehen. Die hier berührte Erscheinung verdient eine weitere experimentelle Untersuchung[2]).

Siebentes Capitel.

Der Verlauf der Athmung und das Verhältniss der Athmung zum Wachsthum.

Die in den Samen aufgespeicherten Reservestoffe erfahren bei

1) Vgl. Wolkoff und Mayer: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 3. S. 523.

2) Es muss hier noch beiläufig auf die vorhandene Angabe hingewiesen werden, dass bei ein und derselben Samenart die bei der Keimung producirte Kohlensäure stets dem Gewichte der Samen genau proportional sein soll. Diese Angabe ist aus verschiedenen Gründen sicher unrichtig, und auf ein Moment, das zu diesem Schlusse berechtigt, hat bereits Sachs hingewiesen.

der Keimung zum Theil tiefgehende Zersetzungen. Kohlensäure und Wasser werden als Athmungsproducte abgeschieden, während gewisse Substanzen im vegetabilischen Organismus selbst verbleiben und das Material zur Neubildung von Zellen liefern. Bedenken wir dies, so erscheint es a priori als fast gewiss, dass Athmung und Wachsthum zwei Processe repräsentiren, die durchaus parallel mit einander verlaufen. Von vornherein könnte man also zu der Anschauung neigen, dass einem intensiveren Wachsthum stets eine lebhaftere Athmung entspricht, und dass diejenigen Momente, welche einen retardirenden Einfluss auf das Wachsthum ausüben, ebenfalls die Athmung verlangsamen. Und doch weisen uns bereits frühere Auseinandersetzungen darauf hin, dass ein derartiger Parallelismus zwischen Athmung und Wachsthum nicht unter allen Verhältnissen, ja selbst dann nicht immer existiren kann, wenn die Pflanzen unter durchaus normalen Lebensbedingungen vegetiren. Wir erinnern hier nur daran, dass das Licht keinen directen Einfluss auf die Athmung ausübt, während dagegen das Wachsthum der Pflanzen, wie an einer anderen Stelle dieses Buches gezeigt werden soll, meistens durch das Licht ganz wesentlich verlangsamt wird; ferner erwähnen wir, dass der Athmungsprocess bereits bei Temperaturen beginnt, bei denen sich das Wachsthum noch nicht geltend macht, und dass der Athmungsprocess selbst bei Temperaturen noch fortdauernd intensiver wird, die jenseits des Temperaturoptimum für das Wachsthum liegen.

Es ist selbstverständlich, dass das Wachsthum sich nur dann geltend machen kann, wenn in der Pflanze Athmungsprocesse verlaufen[1]; aber auf der anderen Seite ist zu bemerken, dass Wachsthum und Athmung durchaus nicht zwei Processe sind, die immer einen strengen Parallelismus unter einander zeigen.

Angaben über den Verlauf der Athmung bei der Keimung finden wir nur vereinzelt in der Literatur, und wir haben die Abhandlungen, in denen solche Angaben vorhanden sind, bereits fast sämmtlich citirt.

Verschiedene Beobachter (Fleury, Sachsse, Laskovsky und ich) welche übrigens die Frage nach den Verlaufe der Athmung bei der Keimung nur beiläufig behandelten, haben gefunden, dass stärkereiche und fettreiche Samen zu Beginn der Kei-

---

1) In umgekehrter Fassung würde dieser Satz falsch sein, denn es ist bekannt, dass sehr viele Pflanzen innere Athmung unterhalten können, ohne gleichzeitig Wachsthumserscheinungen zu zeigen.

mung in einer gegebenen Zeit nur geringe Kohlensäurequantitäten ausathmen, dass aber die Kohlensäureentwickelung mit fortschreitender Evolution des Embryo lebhafter wird. Die Resultate meiner Untersuchungen über den Keimungsprocess des Hanfes, sowie diejenigen weiter unten ausführlicher zu behandelnden Beobachtungen A. Mayer's über die Keimung des Weizens lassen erkennen, dass die absolute Sauerstoffquantität, welche Samen bei Beginn der Keimung absorbiren, geringer als diejenige Sauerstoffmenge ist, welche sie später der Atmosphäre entziehen. Dagegen ist das Sauerstoffvolumen, welches die Samen bei Beginn der Keimung aufnehmen, wenig grösser als das Kohlensäurevolumen, welches ausgehaucht wird, während sich später ein anderes Verhältniss geltend macht (Oudemans und Rauwenhoff). Die relativ bedeutende Sauerstoffaufnahme bei Beginn der Keimung wird gewiss, abgesehen von sonstigen Verhältnissen, dadurch herbeigeführt, dass die in den verschiedensten Samen in grösseren oder geringeren Quantitäten vorhandenen Fettmengen schnell eine Oxydation ohne entsprechende Kohlensäureabscheidung erfahren.

Sehr werthvoll ist eine Abhandlung A. Mayer's[1]), in der dieser ausgezeichnete Forscher die Resultate seiner Untersuchungen über den Verlauf der Sauerstoffaufnahme des keimenden Weizens mittheilt und zugleich den Verlauf der Athmung mit demjenigen des Wachsthums vergleicht. Es gelangten stets je 4 Weizenkörner oder Weizenkeimpflanzen in den von Mayer construirten Respirationsapparat, um die Sauerstoffaufnahme von Beginn der Quellung der Untersuchungsobjecte an verfolgen zu können. Die erste Versuchsreihe, welche bei einer Temperatur von 10.0—13.7° C. ausgeführt wurde, lieferte z. B. die folgenden Ergebnisse:

Datum.	Stündlicher Sauerstoffverbrauch. in Ccm.	Temperatur. in ° C.
October.		
21.—22.	0.006	13.2
22.—23.	0.004	12.3
23.	0.004	13.7
23.—24.	0.01	12.9
24.—25.	0.01	12.5
25.	0.02	11.3
25.—26.	0.04	10.7
26.	0.05	12.6

1) Vgl. A. Mayer, Versuchsstationen. B. 18. S. 245.

Datum.	Stündlicher Sauerstoffverbrauch. in Ccm.	Temperatur. in ° C.
October.		
26.—27.	0.05	12.3
27.	0.05	13.0
27.—28.	0.06	12.5
28.—29.	0.06	10.6
29.—30.	0.06	10.9
30.—31.	0.07	11.3
31.	0.09	11.2
November.		
1.—2.	0.08	10.4
2.—3.	0.07	10.6
3.	0.07	11.5
3.—4.	0.08	10.7
4.—5.	0.10	11.7
5.	0.09	11.2
5.—6.	0.10	11.7
7.	0.08	11.3
7.—8.	0.10	12.5
8.—9.	0.7	11.3
9.—10.	0.6	10.0
10.	0.7	10.7

Respirationsversuche, die Mayer bei höherer Temperatur ausführte, lieferten ähnliche Resultate, und die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen zumal, dass die Sauerstoffaufnahme keimender Weizenfrüchte zunächst langsam beginnt, dann immer intensiver wird, ein Maximum erreicht, um nun wieder sehr allmählich schwächer zu werden.

Nun ist es bekannt, dass das Wachsthum des Embryo der Samen ebenfalls zunächst schwach ist, ein Maximum erreicht und dann wieder langsamer wird. So fand Mayer z. B. die folgenden Werthe für die tägliche Zunahme der Keimtheile des Weizens[1]:

	Plumula.	Längstes Würzelchen.
2.—3. Tag	1 Mm.	3 Mm.
3.—4. „	1.5 „	4.5 „
4.—5. „	2.5 „	3.5 „
5.—6. „	4 „	6 „

1) Die Beobachtungen wurden bei einer Temperatur von 10.0—13.7° C. ausgeführt.

	Plumula.	Längstes Würzelchen.
6.—7. Tag	5 Mm.	7 Mm.
7.—8. "	5 "	7 "
8.—9. "	6 "	2 "
9.—10. "	7 "	2½ "
10.—11. "	8 "	2 "
11.—12. "	9 "	1 "
12.—13. "	11 "	0 "
13.—14. "	13 "	0 "
14.—15. "	13 "	0 "
15.—16. "	14 "	0 "
16.—17. "	13 "	1 "
17.—18. "	11 "	2 "
18.—19. "	11 "	1 "
19.—20. "	10 "	2 "
20.—21. "	10 "	0 "
21.—22. "	10 "	0 "
22.—23. "	10 "	1 "
23.—24. "	10 "	0 "
24.—25. "	9 "	1 "
25.—26. "	9 "	0 "
26.—27. "	9 "	1 "
27.—28. "	9 "	0 "
28.—29. "	9 "	0 "
29.—30. "	0 "	0 "
30.—31. "	0 "	0 "
31.—32. "	0 "	0 "
32.—33. "	0 "	0 "
33.—34. "	0 "	0 "

Ueberblicken wir die vorstehenden Angaben, so müssen wir zu dem Resultate gelangen, dass im Ganzen und Grossen ein Parallelismus zwischen dem Verlaufe des Wachsthums und der Athmung der keimenden Weizenpflanze besteht [1]). Und dieser Parallelismus lässt sich noch weiter verfolgen, denn Rischawi [2]) hat constatiren können, dass ebenfalls die Kohlensäureausgabe

1) Es ist besonders darauf hinzuweisen, dass die Verlängerung der Plumula und einer Wurzel stets als Mass für die Wachsthumsintensität in Anspruch genommen wurde. Bei der Benutzung dieses Verfahrens gelangt man natürlich nicht zu absolut genauen Resultaten über die Intensität des Gesammtwachsthums, wohl aber zu solchen, die für unsere Zwecke brauchbar sind.

2) Vgl. Rischawi, Versuchsstationen. B. 19. S. 321.

keimender Weizenpflanzen zunächst eine allmähliche Steigerung erfährt, ein Maximum erreicht und schliesslich wieder schwächer wird. Eine Versuchsreihe, die mit 40 Weizenkeimpflanzen bei einer constaten Temperatur von 21° C. durchgeführt wurde, ergab die folgenden Resultate:

Datum.	In 24 Std. ausgehauchte Kohlensäure in Milgrm.	Datum.	In 24 Std. ausgehauchte Kohlensäure in Milgrm.
17. Februar	13.68	1. März	49.50
18. „	19.14	2. „	49.50
19. „	32.34	3. „	49.50
20. „	37.62	4. „	42.90
21. „	42.90	5. „	41.36
22. „	44.88	6. „	33.66
23. „	46.86	7. „	33.00
24. „	47.52	8. „	30.36
25. „	48.18	9. „	28.38
26. „	48.88	10. „	25.74
27. „	50.16	11. „	21.12
28. „	49.50	12. „	18.48
29. „	49.50	13. „	15.18 [1])

Dass bei der Keimung des Weizens unter gewissen Umständen in der That ein Parallelismus zwischen Athmung und Wachsthum existirt, zeigen, unter Berücksichtigung des bereits Angeführten, ebenfalls noch fernere Angaben A. Mayer's. Hatten sich die Weizenkeimpflanzen 6 Tage lang bei 22.5—24.5° C. entwickelt, so besass die Plumula eine durchschnittliche Länge von 49 Mm. Dieselbe Länge erreichte die Plumula der Untersuchungsobjecte bei 10.0—13.7° C. in 12 Tagen. Die zu der einen Beobachtungsreihe (bei 22.5—24.5° C.) benutzten Früchte besassen zu Anfang des Versuchs ein Trockensubstanzgewicht von 0.175 Grm., die zu der anderen (bei 10.0—13.7° C.) in Anwendung gebrachten ein Gewicht von 0.176 Grm. Die Keimlinge jener Samen zeigten nach 6 Tagen ein Trockensubstanzgewicht von 0.153 Grm., die Keimlinge dieser aber nach 12 Tagen ein Gewicht von 0.151 Grm. Hat-

1) Handelt es sich darum, die Beziehungen zwischen der Athmung und dem Wachsthum aufzuhellen, so ist es in vielen Fällen, um ein Urtheil über den Verlauf der Athmung zu gewinnen, entschieden richtiger, die von den Pflanzen ausgehauchte Kohlensäuremenge und nicht die aufgenommene Sauerstoffquantität zu bestimmen. Hat man es übrigens mit fettarmen Pflanzentheilen zu thun, so führt die Bestimmung der absorbirten Sauerstoffmenge ebenfalls unter Umständen zu recht genauen Ergebnissen.

ten die Weizenpflanzen bis zum völligen Abschluss der beiden Versuchsreihen denselben Grad der Evolution erreicht (bei 20.5—22.5° C. in 16 Tagen und bei 10.0—13.7° C. in 34 Tagen), so besassen die Untersuchungsobjecte ebenfalls fast das nämliche Trockensubstanzgewicht, nämlich 0.111, respct. 0.110 Grm. Somit sind wir zu der Schlussfolgerung berechtigt, dass bei der Keimung des Weizens bei einer Temperatur von nahe 12° C. und nahe 24° C. „das gleiche Entwickelungsstadium auch das gleiche Opfer an organischen Reservestoffen erheischt". Unter den angegebenen Bedingungen ist also das Verhältniss zwischen der verathmeten Trockensubstanzmenge und derjenigen, welche für die Zwecke des Wachsthums Verwendung fand, stets dasselbe.

Für die Theorie des Wachsthums ist es selbstverständlich von Wichtigkeit, dass ein Parallelismus zwischen Athmung und Wachsthum bereits für einige Fälle constatirt worden ist, und weitere Forschungen werden sicher zu ähnlichen Resultaten führen. Ebenso wichtig ist es aber für die Theorie des Wachsthums, dass dieser Parallelismus nicht allgemeine Gültigkeit besitzt. Ueberlegen wir z. B., dass das Licht auf das Wachsthum solcher Pflanzentheile, die sich unter normalen Verhältnissen entwickeln, einen retardirenden Einfluss geltend macht, und dass die Athmungsintensität gar nicht vom Licht direct modificirt wird, so gelangen wir bereits jetzt zu dem Resultate, dass die Verlangsamung des Wachsthums im Licht ihre Ursache nicht in einer Beschleunigung der Athmung, die auf eine Zerstörung solcher Stoffe hinwirkt, welche im Finstern für die Zwecke des Wachsthums in Anspruch genommen werden, finden kann. Vielmehr müssen anderweitige Momente die Verlangsamung des Wachsthums unter dem Einfluss des Lichtes herbeiführen.

Nicht minder interessant ist der von A. Mayer[1]) gelieferte Nachweis, dass dann, wenn die Keimung des Weizens bei 31.9—36.5° C. erfolgt, also bei einer Temperatur, die jenseits des Temperaturoptimum für den Wachsthumsprocess liegt, Athmung und Wachsthum nicht mehr parallel mit einander verlaufen. Unter diesen Verhältnissen macht sich nämlich eine Luxusconsumtion geltend, d. h. ein bestimmter Evolutionsgrad der Keimpflanzen, der bei niederer Temperatur mit einem Opfer an organischen Reservestoffen von gewisser Grösse verbunden ist, wird hier erst

1) Vgl. A. Mayer, Versuchsstationen. B. 18. S. 267.

erreicht, wenn ein beträchtlich grösseres Quantum der Reservestoffe seine Verathmung gefunden hat.

Während das Wachsthum der Keimpflanze stets bei beginnender Keimung ein schwaches ist, immer lebhafter wird, um schliesslich wieder unbedeutend zu werden, zeigt die Kohlensäureabscheidung nicht immer einen entsprechenden Verlauf. Rischawi[1]) fand, dass Keimpflanzen von Vicia Faba, die er, sobald der Stengel eine Länge von 1 Cm. erreicht hatte, in einen geeigneten Respirationsapparat einführte, fortan bei constanter Temperatur in der Zeiteinheit stets dieselbe Kohlensäuremenge lieferten [2])[3]).

Den Keimpflanzen von Vicia Faba ganz analog scheinen sich nach Beobachtungen von Sachsse[4]) keimende Erbsen zu verhalten. Auch bei diesen ist die Kohlensäureentwickelung allerdings zunächst eine schwache, sie wird allmählich lebhafter, und fortan wird in der Zeiteinheit stets die gleiche Kohlensäurequantität expirirt, während das Wachsthum natürlich die bekannten Veränderungen zeigt. Nichts desto weniger lässt sich bei den Erbsen nach meinen Beobachtungen wie beim Weizen feststellen, dass das gleiche Entwickelungsstadium der Keimpflanzen stets das gleiche Opfer an Reservestoffen verlangt[5]). Wenn Erbsenkeimlinge nämlich bei höherer Temperatur nach kürzerer Zeit oder bei niederer Temperatur nach längerer Zeit dasselbe Stadium der Evolution erfahren haben, so sind auch in beiden Fällen, wie meine bezüglichen Beobachtungen ergeben haben, dieselben Trockensubstanzquantitäten verathmet worden. Es existirt bei der Keimung von Pisum — und sicher ebenso bei derjenigen von Vicia Faba — also wohl eine Relation zwischen dem Wachsthum und der Athmung, aber ein Parallelismus zwischen beiden Processen, wie er für den keimenden Weizen nachgewiesen werden kann, ist nicht mehr vorhanden.

Das von Rischawi bei dessen Untersuchungen über den

---

1) Vgl. Rischawi: Versuchsstationen. B. 19. S. 332.

2) Die Beobachtungen sind fast 3 Wochen lang fortgesetzt worden.

3) Den Verlauf der Kohlensäureabscheidung während des allerersten Keimungsstadiums von Vicia Faba hat Rischawi nicht bestimmt. Unzweifelhaft ist die Athmung zunächst schwach, um allmählich intensiver zu werden.

4) Vgl. Sachsse: Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum. Leipzig, 1872. S. 9.

5) Vgl. Detmer, Wollnys Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. B. 2, H. 1 und H. 3.

Keimungsprocess von Vicia gewonnene Resultat, wonach zwischen der Athmung und dem Wachsthum kein Parallelismus existirt, ist von dem genannten Forscher in folgender Weise erklärt worden. Die Cotyledonen von Vicia besitzen eine beträchtliche Grösse und athmen zumal während der ersten Keimungsstadien sehr erheblich, wohingegen sich der übrige Theil des Embryo zu dieser Zeit noch wenig vergrössert hat und eine schwache Athmung unterhält. Wächst die junge Pflanze heran, so wird die Athmungsintensität derselben fortdauernd grösser, während diejenige der Cotyledonen eine geringere wird. Somit liegt die Möglichkeit vor, dass, obgleich das Wachsthum des Embryo die grosse Periode zeigt, die Athmungsintensität der gesammten Pflanze (Cotyledonen und übrige Theile des Embryo) sich während längerer Zeit auf derselben Höhe erhält [1]).

Dieser Erklärungsversuch der constatirten Erscheinungen ist aber gewiss falsch, denn würde er richtig sein, so wäre gar nicht einzusehen, weshalb sich die keimende Weizenpflanze anders als die keimende Bohnenpflanze verhalten sollte. Die Weizenfrüchte bergen gerade so wie die Bohnensamen relativ mächtig entwickelte Reservestoffhehälter, aber dennoch verläuft die Respiration bei der Keimung des Weizens in wesentlich anderer Weise als bei derjenigen der Bohne, und von einer Compensation der Athmungsgrösse des Endosperm und des Embryo ist hier nicht die Rede.

Dagegen dürften die folgenden Betrachtungen geeignet sein, auf die hier in Rede stehenden complicirten Verhältnisse ein Streiflicht zu werfen.

Vor allen Dingen ist daran festzuhalten, dass das Wachsthum der Keimtheile stets eine grosse Periode zeigt, also zunächst langsam beginnt, immer lebhafter wird, ein Maximum erreicht, um schliesslich wieder zu sinken. Der bei der Keimung des Weizens zur Geltung kommende eigenthümliche Verlauf der Athmung wird nun dadurch bedingt, dass auf Kosten der vorhandenen stickstofffreien Reservestoffe, zumal des Amylum, stets sehr erhebliche Glycosemengen entstehen, die zunächst so bedeutend sind, dass sie weitaus hinreichen, die Gesammtmenge der stickstoffhaltigen Dissociationsproducte der Lebenseinheiten des Plasma in Proteinstoffe umzubilden und in Folge dessen keine Anhäufung der Säureamide etc. in den Keimpflanzen gestatten. Damit steht aber auch in Verbindung,

1) Bei der Entfaltung des Embryo von Vicia Faba erfahren lediglich die Stiele der Cotyledonen zu Beginn der Keimung eine schwache Streckung.

dass der Vorrath an stickstofffreien plastischen Stoffen im Endosperm alsbald erschöpft ist, und nun werden die stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte des Plasma nicht mehr sämmtlich in Eiweiss übergeführt. Sie häufen sich daher in den Keimpflanzen an, und die Athmungsintensität muss, weil jetzt weniger Lebenseinheiten des Plasma als vorher vorhanden sind, sinken.

Bei der Keimung der Samen von Vicia und ebenso bei derjenigen der Samen von Pisum ist die Anhäufung von stickstoffhaltigen Zersetzungsproducten der Lebenseinheiten bald nach Beginn der Keimung bemerkbar und sie wird ganz allmählich mit fortschreitender Evolution des Embryo erheblicher. Daraus folgt schon, dass aus dem grossen Vorrath der vorhandenen Amylummenge nur relativ geringe Quantitäten solcher Stoffe entstehen, die für die Zwecke der Eiweissregeneration Verwendung finden, und in der That habe ich constatiren können, dass bei der Keimung der Erbse lediglich während der Quellung in den Untersuchungsobjecten die Gegenwart von Glycose zu constatiren ist. Weiterhin entsteht dieser Körper sicher ebenfalls in den jungen Pflanzen, aber er wird in dem Masse als er sich bildet, zur Proteinstoffregeneration verwendet. Denken wir uns, dass z. B. bei der Keimung von Vicia und Pisum fortdauernd in der Zeiteinheit eine Menge stickstoffhaltiger Zersetzungsproducte der Lebenseinheiten entsteht, die = 10 ist, und nehmen wir an, dass immer nur so viel Glycose disponibel ist, um eine = 9 gesetzte Menge der stickstoffhaltigen Körper in Eiweiss überzuführen, so leuchtet einerseits ein, dass sich die stickstoffhaltigen Dissociationsproducte der Lebenseinheiten des Plasma in den Keimlingen mehr und mehr anhäufen müssen, und ferner ist ersichtlich, dass der Athmungsprocess der Pflanzen, weil eben der Verbrauch an stickstofffreien Substanzen ein relativ geringer ist, sich lange Zeit hindurch fast constant auf derselben Höhe erhalten kann. Wachsthum und Athmung repräsentiren also in diesem Falle zwei Processe, die nicht parallel mit einander verlaufen.

Wenn in den Pflanzenzellen eine Anhäufung stickstoffhaltiger Zersetzungsproducte des Plasma stattfindet, so muss dadurch die Intensität der Gesammtathmung eine Depression erfahren. Ich glaube deshalb berechtigt zu sein, den Schluss ziehen zu dürfen, dass, wenn auch natürlich die absolute Athmungsintensität einer Bohnen- oder Erbsenkeimpflanze grösser ist als einer gleichaltrigen Weizenkeimpflanze, diese letztere doch während eines gewissen Keimungsstadiums relativ (d. h. im Vergleich zu ihrem Trockensub-

stanzgewicht, oder besser im Vergleich zu dem Gewichte der sämmtlichen in ihr vorhandenen Lebenseinheiten) lebhafter als die ersteren Keimpflanzen athmet. Durch geeignete Experimente hoffe ich die Richtigkeit dieser Anschauung alsbald erhärten zu können [1]).

Achtes Capitel.

Die Wärmeentwickelung bei der Keimung.

Die Entstehung von organischer Substanz in der chlorophyllhaltigen Zelle kann nur unter Vermittelung des Lichtes erfolgen. Das Licht repräsentirt die actuelle Energie, welche die bei der Assimilation verlaufenden Reductionsprocesse vermittelt. Es wird in der entstehenden organischen Substanz potentielle Energie aufgespeichert, und diese Spannkraft kann natürlich unter gewissen Umständen wieder in Form von lebendiger Kraft auftreten.

Dies ist namentlich bei dem Vorgange der normalen Athmung der Fall. Der atmosphärische Sauerstoff verbindet sich mit den Elementen der organischen Substanz; Kohlensäure, sowie Wasser werden producirt, und in Folge der Oxydationsprocesse wird eine gewisse Wärmemenge entwickelt. Da sich aber in allen in Lebensthätigkeit begriffenen Pflanzenzellen Athmungsprocesse geltend machen, so muss ebenfalls jede in Lebensthätigkeit begriffene Pflanzenzelle Wärme erzeugen.

Wenn man einerseits die Temperatur von Pflanzentheilen, andererseits aber diejenige der umgebenden Atmosphäre bestimmt, so zeigt sich oft, dass die Temperatur der ersteren geringer ist, als diejenige der letzteren. Es würde aber durchaus falsch sein, wollte man deshalb den Schluss ziehen, dass im vegetabilischen Organismus keine Wärme entstände. Es muss nämlich mit Nachdruck betont werden, dass in der Pflanze nicht nur solche Processe verlaufen, durch welche Wärme erzeugt wird, sondern dass sich in derselben anderweitige Vorgänge geltend machen, die mit einem Verbrauch von Wärme verbunden sind. Als solche Vorgänge, durch deren Verlauf die Temperatur der Gewächse ernie-

---

1) Es ist überhaupt nothwendig, weitere Untersuchungen über die Beziehungen zwischen dem Athmungs- und Wachsthumsprocess auszuführen, denn wenngleich feststeht, dass Keimpflanzen ohne Sauerstoffzutritt nicht wachsen können, so deuten doch die bekannten Thatsachen darauf hin, dass selbst bei Triticum der erwähnte Parallelismus zwischen Athmungs- und Wachsthumsintensität als ein rein äusserlicher aufzufassen ist.

drigt wird, sind aber namentlich die Wärmeausstrahlung und vor allen Dingen die Transpiration zu nennen [1]). Die meisten Pflanzen enthalten reichliche Wasserquantitäten und geben beträchtliche Wasserdampfmengen an die Atmosphäre ab. Dabei wird Wärme latent, und wenn die Wärmemenge, welche in Folge der Transpiration gebunden wird, z. B. bedeutender ist als diejenige, welche in der Pflanze durch den Athmungsprocess entsteht, so muss der vegetabilische Organismus eine niedere Temperatur als die umgebende Luft besitzen. Ein derartiges Verhältniss kann man häufig genug an grünen, lebhaft transpirirenden Pflanzen beobachten.

Wenn wir dies bedenken, so ist der Weg, der zur Erforschung der Verhältnisse, die sich auf die Eigenwärme grüner und stark transpirirender Gewächse beziehen, eingeschlagen werden muss, vorgezeichnet. Man muss die Pflanzen bei Ausschluss lebhafter Wasserverdunstung auf ihre Temperatur untersuchen, und bereits Dutrochet hat, wie wir an einer anderen Stelle dieses Buches bemerkten, derartig experimentirt.

Leicht gelingt es, die Existenz der Eigenwärme der Gewächse zu constatiren, wenn man solche Pflanzentheile zu den bezüglichen Untersuchungen in Anwendung bringt, die einen besonders lebhaften Stoffwechsel unterhalten. Blüthentheile, Knollen, Zwiebeln und namentlich auch keimende Samen repräsentiren ein vortreffliches Material, um den Nachweis dafür zu liefern, dass der Athmungsprocess der Pflanzen von einer lebhaften Wärmeentwickelung begleitet ist.

Es ist bereits seit langer Zeit bekannt, dass die keimende Gerste bei der Gewinnung des Malzes eine beträchtlich höhere Temperatur als die umgebende Luft annehmen kann. Merkwürdig ist es aber, dass man diese interessante Erscheinung lange unberücksichtigt liess, und dass die Bedeutung derselben eigentlich erst von Göppert klar erkannt wurde.

Während Göppert die Existenz der Eigenwärme der Pflanzen noch im Jahre 1830 leugnet, so berichtet er doch bereits zwei Jahre später über Untersuchungen, deren Ergebnisse ihn von der Fähigkeit der Pflanzen, eine beträchtlich höhere Temperatur als die umgebende Luft anzunehmen, überzeugt hatten [2]).

Göppert brachte die Samen gewöhnlich in hölzerne Gefässe,

---

1) Einige andere Processe, die sich in der Pflanze geltend machen, führen übrigens ebenfalls einen Consum von Wärme herbei.

2) Vgl. Göppert, Ueber Wärmeentwickelung in der lebenden Pflanze. Wien, 1832.

die mit einer 2—3 Zoll dicken Lage Werg umgeben wurden; das Thermometer wurde in die Mitte der Samen gebracht. Auf zwei Versuchsreihen, bei deren Ausführung Weizen- und Maisfrüchte zur Benutzung gelangten, wollen wir etwas ausführlicher eingehen. Der Weizen wurde 2, der Mais aber 3 Tage lang eingequollen [1]). Die Früchte gelangten dann in die Holzgefässe. Die Entwickelung der Keimpflanzen wurde alsbald bemerkbar und erfuhr zunächst keinerlei Störungen. Am 28. April zeigte sich in dem mit Weizenfrüchten beschickten Gefässe Schimmelbildung; dieselbe fand in dem Gefäss mit Mais erst am 5. Mai statt. Die Temperaturbeobachtungen lieferten nun die folgenden Ergebnisse:

Zeit 1831.	Mittlere Temperatur der Stube.	des Weizens.	des Mais.
23. April	12.0° R.	13° R.	13° R.
24. „	11.1 „	18 „	15 „
25. „	10.8 „	20 „	16 „
26. „	10.5 „	20 „	17 „
27. „	8.6 „	20 „	18 „
28. „	9.6 „	23 „	18 „
29. „	11.7 „	23 „	19 „
30. „	12.8 „	23 „	17 „
1. Mai	13.4 „	24 „	17 „
2. „	12.0 „	24 „	17 „
3. „	12.4 „	24 „	16 „
4. „	14.4 „	25 „	16 „
5. „	13.1 „	26 „	16 „

Bei diesen und weiteren Versuchen mit Erbsen, Hanf, Klee-, sowie Rübensamen constatirte Göppert also, dass bei der Keimung der Samen eine bedeutende Wärmemenge frei wird. Göppert hat ferner Weizenfrüchte mit Alkohol behandelt, die Untersuchungsobjecte dann quellen lassen und in ein hölzernes Gefäss gebracht. Vom 12. bis 21. Mai zeigte sich ebenso wenig Keimung als Wärmeentwickelung; dann aber stieg die Temperatur der Untersuchungsobjecte, und gleichzeitig machte sich eine Zersetzung derselben geltend. Ich gehe hier nicht auf die Schlussfolgerungen, die Göppert aus seinen Beobachtungen zieht, näher ein, sondern bemerke nur, dass die Wärmeentwickelung bei der Keimung der Samen entschieden wesentlich Folge der normalerweise mit der

1) Jeder Versuch wurde mit 3 Pfd. der Früchte durchgeführt.

Entwickelung des Embryo Hand in Hand gehenden chemischen Processe ist.

Neuerdings hat sich Wiesner mit eingehenderen Untersuchungen über die Freiwerdung von Wärme bei der Keimung beschäftigt, und diese Beobachtungen sind um so beachtenswerther, als sie in Verbindung mit Studien über den Athmungsprocess der Keimpflanzen ausgeführt wurden [1]).

Eine Versuchsreihe wurde mit 500 Grm. Hanffrüchte durchgeführt. Die in einen Mousselinbeutel eingeschlagenen Früchte wurden in Wasser, das sich in einem Becherglase befand und genau die Temperatur der Luft des Versuchslocales besass, eingetaucht. Das am Grunde des Becherglases angesammelte Wasser wurde abgegossen. Innerhalb der ersten Stunden des Versuchs war es nöthig, zur gehörigen Durchfeuchtung der Früchte noch mehrmals Wasser zuzusetzen, wozu natürlich stets nur solches Wasser in Anwendung kam, welches genau auf die jeweilige Temperatur der keimenden Früchte gebracht worden war. In der folgenden Tabelle sind einige Resultate der Untersuchungen Wiesner's über den Gang der Temperatur bei der Keimung des Hanfes zusammengestellt:

	Zeit.	Lufttemperatur in ° C.	Temperatur der keimenden Früchte in ° C.
1. Juni	8h. Morgens	15.0	15.0
„	8h. 30m.	15.0	15.2
„	9	15.5	15.9
„	10	16.1	16.8
„	11	16.2	17.3
„	12	17.4	19.6
„	1 Nachmitt.	17.0	19.5
„	8 Abends	14.8	15.3
2. „	8 Morgens	15.5	17.7
3. „	9 „	15.3	19.9

Die unter Berücksichtigung der gehörigen Vorsichtsmassregeln ausgeführten Kohlensäurebestimmungen lieferten die folgenden Resultate:

---

1) Vgl. Wiesner, Versuchsstationen. B. 15, S. 135. Man vgl. ebenfalls die Sitzungsber. d. k. Akadm. d. Wiss. zu Wien. B. 64.

Zeit.	Von den keimenden Hanffrüchten producirte Kohlensäuremenge in Mgrm.
1. Juni 9 h. 30 m. Morgens	0
„ 10	0
„ 11	0
„ 12	0
„ 1	1.0
„ 2	2.0
„ 3	2.5
„ 4	3.5
„ 5	4.0
„ 6	5.0

Wir unterlassen es, weitere Zahlen mitzutheilen, denn die angeführten und ferner diejenigen, welche Wiesner bei der Durchführung einer Versuchsreihe mit Gerste erhielt, lassen zur Genüge erkennen, dass bei der Keimung eine Entbindung von Wärme erfolgt, und dass, was besonders interessant ist, bei der Keimung der Samen die Kohlensäurebildung später als die Wärmeentwickelung eintritt.

Welche Processe rufen aber die Erwärmung der Samen vor beginnender Kohlensäureentwickelung hervor? Diese Frage erledigt sich in einfachster Weise, wenn man sich daran erinnert, dass bei dem Verlauf der Quellung in Folge der sich geltend machenden Wasserverdichtung Wärme frei werden muss. In der That fand Wiesner, dass sofort eine Temperatursteigerung erfolgt, wenn man Mehl von Hanf-, Gersten-, Maisfrüchten oder Erbsensamen mit Wasser in Berührung bringt [1]). Nobbe [2]) scheint der Anschauung Wiesner's keine besondere Bedeutung beizumessen, indem er vielmehr betont, dass die Wärmeentwickelung vor beginnender Kohlensäurebildung bei der Keimung Folge des Entstehens gewisser chemischer Verbindungen in den Samen etc. sein könne. Ich bin der Meinung, dass derartige Processe, wie Nobbe sie voraussetzt, bei der Quellung der Samen stattfinden. Aber andererseits ist zu bemerken, dass doch ganz bestimmt ebenfalls durch Wasserverdichtung Wärme bei der Keimung erzeugt werden kann, denn ein physikalischer Process muss sich doch unter allen Umständen geltend machen, wenn die Bedingungen zu seinem Stattfinden ge-

---

1) Wiesner constatirte, dass Kohlensäurebildung während der ersten Stadien der Versuche nicht erfolgte.

2) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 121.

geben sind. Ich habe übrigens einige Experimente angestellt, deren Ergebnisse mit Bestimmtheit beweisen, dass der Quellungsprocess mit einer Freiwerdung von Wärme verbunden ist, und dass diese Wärmeentwickelung wesentlich als eine Folge der Wasserverdichtung angesehen werden muss [1][2].

Es wurden drei Cylinder aufgestellt und in den ersten 100 Grm. reiner Kartoffelstärke, in den zweiten 100 Grm. Erbsenmehl, in den dritten 100 Grm. Quarzsand gebracht. Die Temperatur der Substanzen wurde bestimmt, und dann erfolgte das Uebergiessen derselben mit je 100 Cc. Wasser, um die Temperatur der Gemische sofort abermals festzustellen. Diese Beobachtungen lieferten die folgenden Ergebnisse:

	Ursprüngliche Temperatur des Wassers und der anderen Substanzen in ° C.	Temperatur der Gemische in ° C.
I.	23.5	25.2
II. [3]	23.5	25.0
III. [4]	23.5	23.8

Gelangen Samen also mit Wasser in Berührung, so ist die zunächst sich geltend machende Erwärmung der Untersuchungsobjecte zumal Folge der stattfindenden Wasserverdichtung; weiterhin führen verschiedene chemische Processe, namentlich die normale Athmung, eine gesteigerte Wärmeproduction herbei.

Wenn die Samen in der Natur einzeln im Boden zur Keimung gelangen, so wird natürlich ebenfalls Wärme frei, aber die Temperaturerhöhung, welche die Samen unter diesen Umständen erfahren, kann, dies liegt in der Natur der Sache, nur eine höchst unbedeutende sein. Die Samen befinden sich im Boden in inniger Berührung mit sehr verschiedenen Körpern, welche den keimenden

---

1) Wenn lufttrockene Samen in einem sauerstofffreien Raum mit Wasser in Contact gerathen, so erfolgt zunächst, natürlich wesentlich in Folge des Quellactes, eine Freiwerdung von Wärme. Die normale Athmung ist unter den angegebenen Umständen ausgeschlossen, dafür aber ruft der mit Alkoholbildung Hand in Hand gehende Process der inneren Athmung eine Wärmeentwickelung hervor.

2) Vgl. Detmer, Wollny's Forschungen auf d. Gebiete d. Agriculturphysik. B. 2, Heft 1.

3) Die Erbsen wurden zur Herstellung des Mehls auf einer kleinen Handmühle zermahlen. Hierbei fand eine Erwärmung des Mehles statt, und es konnte dasselbe deshalb erst zu dem Versuche verwandt werden, als es die Temperatur der übrigen Substanzen angenommen hatte.

4) Man vgl. über das Verhalten des Wassers zum Sande bei Jungk, Poggd. Annal. B. 125, S. 292.

Pflanzen die erzeugte Wärme sofort wieder entziehen. Ueberdies ist zu bemerken, dass die Wärmemenge, die ein einzelner Same bei der Keimung erzeugt, immer nur eine geringe ist. Soll die bei der Keimung stattfindende Wärmeproduction deutlich hervortreten, so muss man, wie es in der That von Göppert und Wiesner geschah, ein grösseres Samenquantum zusammenhäufen, mit möglichst wenig Wasser benetzen, und dafür Sorge tragen, dass die Untersuchungsobjecte mit schlechten Wärmeleitern umgeben werden.

Fünfter Hauptabschnitt.

Das Verhalten stickstofffreier Verbindungen bei der Keimung.

Erstes Capitel.

Allgemeine Betrachtungen über das Verhalten der Kohlehydrate und Fette bei der Keimung.

Es kommt häufig genug vor, dass sich nackte Plasmamassen plötzlich mit einer Zellmembran umgeben. Diese Erscheinung macht sich in sehr vielen Fällen bei Abwesenheit des Chlorophylls geltend, so dass also der Zellstoff der entstandenen Membran auf keinen Fall als directes Assimilationsproduct anzusehen ist. Demnach kann der Zellstoff nun aus organischen Substanzen gebildet worden sein, die bereits im Protoplasma vorhanden waren [1]).

Von vornherein liegt nun die Möglichkeit vor, dass stickstoffhaltige Verbindungen des Plasma, indem sie in einen stickstoffreichen und einen sticktofffreien Körper zerfallen, das Material zur Zellstoffbildung liefern. Andererseits kann man a priori die Ansicht hegen, dass die neben den Proteinstoffen in den Pflanzenzellen vorhandenen stickstofffreien Verbindungen unmittelbar zur Zellstoffbildung Verwendung finden. Diese letztere Auffassungsweise der Verhältnisse liegt am nächsten; sie ist mit vielen bekannten Thatsachen in Einklang zu bringen und erfreut sich noch heute einer sehr allgemeinen Anerkennung. Bereits de Candolle hat die Ansicht, allerdings sehr im Allgemeinen, ausgesprochen, dass stickstofffreie, in Folge des Assimilationsprocesses gebildete Körper direct zur Zellstoffbildung in der Pflanze Verwendung finden [2]). Diese Anschauung erfuhr aber erst durch die bahnbrechen-

---

1) Man vgl. über die hier in Rede stehenden Verhältnisse auch die vortrefflichen Darstellungen von Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie der Pflanzen. S. 347.

2) Vgl. de Candolle, Pflanzenphysiologie. Deutsch v. Röper. B. 1, S. 171.

den Arbeiten eines Sachs ihre tiefere Begründung[1]). Sachs geht von der Vorstellung aus, dass die in den Pflanzenzellen in mehr oder minder grossen Quantitäten vorhandenen Amylum-, Zucker- oder Inulinmengen etc. sich im Plasma auflösen, gewisse chemische Veränderungen erfahren, um schliesslich das Material zur Bildung von Zellstoff, der bekanntlich eine den genannten Verbindungen chemisch nahe verwandte Substanz repräsentirt, zu liefern. Und in der That lässt sich leicht constatiren, dass z. B. bei der Keimung der Samen die vorhandenen stickstofffreien Reservestoffe in dem Masse verschwinden, als Zellhäute gebildet werden.

Die Ansicht, dass die Proteinstoffe, indem sie in stickstoffhaltige und stickstofffreie Verbindungen zerfallen, das Material zur Zellstoffbildung liefern, hielt Sachs für unhaltbar. Sie schien ihm nicht genügender begründet werden zu können, und in der That war dies zu der Zeit, als Sachs seine auf Grund der Resultate sorgfältiger Untersuchungen gewonnenen Anschauungen über das Wesen der Stoffwechselprocesse in der Pflanzenzelle äusserte, noch nicht möglich.

Heute dagegen sind wir berechtigt, so meine ich, die ältere Anschauung, wonach Amylum, Zucker, Inulin etc. direct zur Cellulosebildung Verwendung finden, aufzugeben. Nach unserer bereits ausführlicher entwickelten Vorstellung zerfallen die Lebenseinheiten des Plasma der Pflanzenzellen fortdauernd und unter allen Umständen in stickstoffhaltige Verbindungen (Säureamide sowie Amidosäuren) und stickstofffreie Atomcomplexe. Unter normalen Umständen erfahren diese letzteren unter Vermittelung des von den Lebenseinheiten aufgenommenen Sauerstoffs eine theilweise Oxydation, und es bleiben dabei gewisse Atomgruppen übrig, die sich zur Zellstoffbildung vereinigen können. Aber es ist einleuchtend, dass die Zellstoffbildung bald ihr Ende erreichen müsste, wenn die Proteinstoffe lediglich den erwähnten Dissociationsprocessen anheimfielen, denn unter solchen Umständen würden die Lebenseinheiten in kurzer Zeit sämmtlich zerstört sein. Wir wissen jedoch, dass die stickstoffhaltigen Zersetzungsproducte der Eiweisskörper wieder zur Bildung von Proteinstoffen verwandt werden können, und dies geschieht unter allen Umständen unter Beihülfe stickstofffreier Verbindungen. Haben sich neue Lebenseinheiten gebildet, so kann auch die Cellulosebildung fortschreiten, und das Spiel der Dissociations- sowie der Associationsprocesse im Plasma der Pflanzenzellen ermöglicht die Weiterentwickelung der Gewächse.

1) Vgl. Sachs, Pringsheim's Jahrbücher. B. 3, S. 183.

Als stickstofffreie Reservestoffe trifft man vor allen Dingen Amylum, Dextrin, Glycose, sowie Fette in den Samen an. Diese Körper dienen nicht unmittelbar, oder nachdem sie gewissen chemischen Veränderungen anheimgefallen sind, zur Cellulosebildung, wie man früher annahm, sondern ihre Substanz vereinigt sich zunächst mit den stickstoffhaltigen Dissociationsproducten der Lebenseinheiten, und erst so wird die Zellstoffbildung ermöglicht. Amylum, Dextrin und Fette sind aber noch heute, wie dies so scharf von Sachs betont worden ist, als Material zur Zellstoffbildung anzusehen, und ebenso bleibt der Satz vollkommen aufrecht erhalten, dass jene organischen Körper physiologisch gleichwerthige Substanzen repräsentiren, denn in einem Falle liefert die Stärke, in einem anderen z. B. das Fett in erster Linie das Material zur Bildung der Zellhäute.

Uebrigens muss hier bemerkt werden, dass Amylum, Dextrin, Glycose und Fett sicher nicht die einzigen Substanzen sind, welche bei der Keimung Material zur Zellstoffbildung liefern, wenngleich sie die verbreitetsten Substanzen, die diesem Zwecke dienen, repräsentiren. Wir werden später specieller auf die merkwürdige Thatsache eingehen, dass die im Endosperm der Dattel abgelagerten Zellstoffmassen bei der Keimung des Samen aufgelöst und in Zucker übergeführt werden, und dass dieser Zucker dann aufs Neue zur Cellulosebildung Verwendung findet. In diesem Falle ist also der Zellstoff selbst als Reservestoff aufzufassen.

Verschiedene Samen enthalten ferner Glykoside, also Substanzen, die unter gewissen Umständen (bei Behandlung mit Säuren oder durch Vermittelung von Fermenten) in Zucker und andere Körper gespalten werden. In den Samen von Digitalis purpurea kommt z. B. das Digitalin vor. Dasselbe besitzt wahrscheinlich die empirische Formel $C_{27}H_{45}O_{15}$ und liefert bei der Behandlung mit verdünnten Säuren neben Zucker einen harzartigen Körper[1]).

Es ist sehr wohl denkbar, ja für bestimmte Fälle positiv nachgewiesen, dass die Glykoside ebenfalls in der Pflanze derartige Spaltungen erleiden, wie man sie künstlich herbeiführen kann. Und geschieht dies, so wird der gebildete Zucker doch sicher weitere Verwendung im vegetablischen Organismus finden können. Aber im Allgemeinen wird man den Glykosiden, so weit wir heute

1) Auch stickstoffhaltige Glykoside, wie Amygdalin und Myronsäure, kommen in Samen vor.

orientirt sind, doch wohl keine sehr hervorragende Bedeutung für den Stoffwechsel der Pflanze beimessen dürfen, und Rochleder[1]) irrt entschieden, wenn er die Glykoside als Assimilationsproducte ansieht, und wenn er weiter annimmt, dass die in der Pflanze vorhandenen Kohlehydrate sämmtlich als Spaltungsproducte der Glykoside oder als aus solchen hervorgegangene Verbindungen aufzufassen seien. Sachs[2]) hat diesen Irrthum Rochleder's ebenfalls bereits bekämpft, und er weist zumal darauf hin, dass die assimilirenden Pflanzentheile, wenn die Anschauung des zuletzt genannten Forschers die richtige wäre, doch entschieden besonders reich an Glykosiden sein müssten. Dies ist aber keineswegs der Fall; vielmehr finden wir Glykoside vorzugsweise in solchen Pflanzentheilen, die nicht oder nur sehr schwach assimiliren können, also z. B. in Wurzeln, in der Rinde, in Früchten etc.[3]).

Ueber die Natur sowie die Eigenschaften der Amylumkörner und der Zellmembranen haben wir uns bereits im ersten Hauptabschnitte eingehender ausgesprochen. Dagegen dürfte es hier noch am Platze sein, bevor wir weitergehen, dem Dextrin, dem Zucker und dem Fett, also Substanzen, die Material zur Zellstoffbildung liefern können, unsere Aufmerksamkeit zu schenken.

Was zunächst das Dextrin anbelangt, so besitzt dasselbe dieselbe procentische Zusammensetzung wie Amylum und Cellulose. Das Dextrin ist in Wasser löslich, die Lösung dreht die Polarisationsebene des Lichtes stark nach rechts. Aus der wässerigen Lösung scheidet sich das Dextrin auf Alkoholzusatz ab. Reines Dextrin wirkt wahrscheinlich nicht reducirend auf die Fehling'sche Flüssigkeit ein[4]). Wenn man das Dextrin aber mit Säuren oder

1) Vgl. Rochleder, Chemie und Physiologie der Pflanzen. 1858. S. 111.

2) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie. S. 359.

3) Hier mag beiläufig bemerkt werden, dass nicht nur in Samen, sondern ebenfalls in anderweitigen Pflanzenorganen Stoffe abgelagert sind, die zur Cellulosebildung Verwendung finden sollen. Die Kartoffelknollen enthalten grosse Stärkemengen, die Rübenwurzeln Rohrzucker, die Zwiebelschalen von Allium Cepa Glycose, die Dalienknollen Inulin etc. Alle diese Substanzen haben ganz ähnliche Functionen wie die stickstofffreien Reservestoffe der Samen zu erfüllen.

4) Mit dieser Angabe scheint auf den ersten Blick die Thatsache in Widerspruch zu stehen, dass Dextrinlösung, die man mit Fehling'scher Flüssigkeit erwärmt, eine Reduction derselben hervorruft. Ich habe mich davon überzeugt, dass diese Erscheinung selbst dann eintritt, wenn man sehr sorgfältig und anhaltend mit Alkohol ausgewaschenes, also völlig vom Zucker befreites Dextrin zur Untersuchung ver-

Alkalien behandelt, so geht es in Traubenzucker über, und dieser bewirkt dann leicht die Reduction des Kupferoxydes zu Kupferoxydul. Nach neueren Untersuchungen von W. Nägeli[1]) scheinen verschiedene Dextrinarten zu existiren.

Wenn man Amylum in der Kälte mit Säuren behandelt, so wird dasselbe nach und nach völlig aufgelöst. Man hat dann eine Lösung von Amylodextrin vor sich. Dieselbe wird aber leicht durch weitere Einwirkung von Säuren verändert. Es bilden sich eigentliches Dextrin sowie Zucker.

Wenn man eine Amylodextrinlösung abdampft oder zum Gefrieren bringt, so krystallisirt die Substanz in Scheibchen aus. Wird zu einer Amylodextrinlösung Alkohol hinzugesetzt, so scheiden sich nadelförmige Krystalle ab. Die erwähnten Scheibchen bestehen aus Nadeln, welche in der Richtung des Radius um die Axe gruppirt sind.

Ganz frisch mit Hülfe von Alkohol gefälltes Amylodextrin ist in kaltem Wasser löslich. Getrocknetes Amylodextrin wird von kaltem Wasser kaum aufgenommen, von warmem dagegen in grossen Mengen; aus einer solchen Lösung scheidet sich das Amylodextrin beim Erkalten nicht ab. Das gewöhnliche Dextrin ist in kaltem Wasser stets leicht löslich.

W. Nägeli hat nun ferner das Verhalten des Amylodextrins und gewöhnlichen Dextrins zu Jod eingehender studirt, und zwar ging er bei der Ausführung seiner Untersuchungen stets derartig vor, dass er Jodkrystalle in die Lösungen der genannten Substanzen brachte. Auf Grund der Resultate dieser Beobachtungen ist Nägeli zu der Ueberzeugung gelangt, dass sowohl Amylodextrin als auch Dextrin in zwei Modificationen vorkommen. Wir haben danach zu unterscheiden zwischen

Amylodextrin I, dessen Lösung sich mit Jod violett färbt;
Amylodextrin II, dessen Lösung sich mit Jod roth färbt;
Dextrin I (Erythrodextrin), dessen Lösung sich mit Jod roth färbt[2]);

---

wendet. Es muss aber daran erinnert werden, dass Dextrin in alkalischer Lösung rasch in Zucker übergeführt wird, und dass dieser Zucker eben die Reduction herbeiführt.

1) Vgl. W. Nägeli, Beiträge zur näheren Kenntniss der Stärkegruppe. Leipzig 1874.

2) Diese Dextrinmodification ist, wie W. Nägeli bemerkt, vielleicht nichts anderes wie ein Gemisch von Amylodextrin II und Dextrin II.

Dextrin II (Achrodextrin), dessen Lösung mit Jod zunächst eine gelbe, dann eine braune und zuletzt eine ganz dunkel rothbraune Färbung annimmt [1]).

Bringt man einen Jodkrystall mit reinem Wasser in Berührung, so nimmt die Flüssigkeit nur geringe Jodmengen auf und färbt sich in Folge dessen gelblich. Eine Lösung von Dextrin des Handels dagegen löst viel Jod und färbt sich nach und nach intensiv gelbroth bis braun [2]). Ebenso habe ich wässerige Extracte aus grösseren Quantitäten ungekeimter Erbsen und Keimungsproducten derselben mit Jodkrystallen in Berührung gebracht und gefunden, dass diese Lösungen sich ganz ähnlich wie diejenige des käuflichen Dextrins verhielten. Dieses Verhältniss und ferner das weitere, dass nämlich wässerige Extracte aus Erbsensamen und Keimpflanzen derselben nach der Behandlung mit verdünnter Schwefelsäure beträchtliche Traubenzuckermengen enthalten, berechtigen wohl zu dem Schluss, dass die genannten Untersuchungsobjecte factisch dextrinhaltig sind [3]) [4]). Uebrigens scheint das Dextrin in sehr vielen Samen und Keimpflanzen vorzukommen, wie später noch eingehender gezeigt werden soll.

Zuckerarten kommen bekanntlich sehr häufig und unter Umständen in grossen Mengen in Pflanzentheilen vor. Wenn es eine durchaus feststehende Thatsache ist, dass Rübenwurzeln Rohrzucker, viele Früchte aber Dextrose (Traubenzucker) neben Laevulose (Fruchtzucker) enthalten, so sind wir über die Zuckerarten, die in anderweitigen Pflanzen, sowie Pflanzentheilen vorkommen, sehr wenig unterrichtet. Dies gilt zumal auch von den Zuckerarten, welchen man in Samen sowie in Keimpflanzen begegnet. Wir wollen uns hier deshalb nur mit wenigen Angaben begnügen.

Ob Dextrose, diese krystallisirende und die Fehling'sche Lösung stark reducirende Zuckerart, in Samen oder Keimpflanzen vorkommt, ist durchaus nicht nachgewiesen, wenngleich, zumal für die letzteren, sehr wahrscheinlich.

---

1) Die Amylodextrin- sowie Dextrinmodificationen entstehen bei der Behandlung des Amylum mit Säuren nach einander.

2) Das Dextrin des Handels enthält im reinen Zustande weder Amylum noch Amylodextrin I.

3) Anderweitige Bestandtheile der Samen- und Keimpflanzenextracte zeigen, in Berührung mit Jodkrystallen, so weit meine Erfahrungen reichen, die angegebene Reaction nicht.

4) Amylodextrin I kommt, soweit ich orientirt bin, in Samen und Keimpflanzen nicht vor oder wird in denselben wenigstens nur ganz vorübergehend gebildet, so dass sich seine Gegenwart nicht constatiren lässt.

So viel kann ich mit Bestimmtheit behaupten, dass manche Samen nach meinen Untersuchungen völlig frei von Dextrose sind. Ich untersuchte verschiedene Erbsensorten, sowie Mais- und Hanffrüchte auf Dextrose, aber konnte in den wässerigen Extracten des Untersuchungsmaterials keine reducirend wirkende Zuckerart entdecken.

In Hanfkeimlingen, die sich bei Lichtabschluss entwickelt hatten, konnte ich niemals die Gegenwart direct reducirend auf die Fehling'sche Flüssigkeit einwirkender Zuckerarten constatiren[1]). Dagegen fand ich bedeutende Zuckermengen in Maiskeimlingen, mochten dieselben bei Zutritt oder Abwesenheit des Lichtes erwachsen sein. Bei der Keimung der Erbse wird in den aller ersten Stadien (Quellung) eine die Fehling'sche Lösung stark reducirende Substanz angehäuft. Wenn die Keimpflanzen sich aber fernerhin im Dunkeln ausbilden, so verschwindet dieser Körper wieder völlig; erfolgt die Keimung bei Lichtzutritt, so ist dies nicht der Fall.

Laevulose, deren wässerige Lösung den polarisirten Lichtstrahl nicht nach rechts, wie es diejenige der Dextrose vermag, sondern nach links ablenkt, ist ebenfalls in Samen und Keimpflanzen noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen worden. Es sei nur erwähnt, dass G. Kühnemann[2]) in der gekeimten Gerste (Malz), nicht aber in den Gerstenfrüchten, eine Zuckerart aufgefunden hat, die wie Laevulose unkrystallisirbar ist und die Fehling'sche Lösung direct reducirt.

Rohrzucker, dessen Lösung den polarisirten Lichtstrahl nach rechts ablenkt und Fehling'sche Flüssigkeit nicht direct reducirt, scheint in der That in Samen und Keimpflanzen vorkommen zu können. G. Kühnemann theilt mit[3]), dass es ihm gelungen sei, aus ungekeimter und gekeimter Gerste eine Zuckerart abzuscheiden, die krystallisirbar ist, die Fehling'sche Lösung nicht unmittelbar reducirt und einen intensiv süssen Geschmack besitzt, sich also genau wie Rohrzucker verhält.

Bei der Keimung der Gerste — und sicher ebenfalls in vielen andern Fällen — wird endlich noch eine fernere Zuckerart, wenn auch nicht als Endproduct, entstehen. Es ist dies die Maltose, eine krystallisirbare, die Fehling'sche Lösung direct reducirende

---

1) Vgl. Detmer: Physiologisch-chemische Untersuchungen über d. Keimungsprocess ölhaltiger Samen etc. 1875. S. 39.

2) Vgl. G. Kühnemann, Berichte d. deutschen chem. Gesellsch. 1875. S. 202.

3) Vgl. G. Kühnemann: Ebendaselbst. S. 387.

Zuckerart[1]), deren Formel im wasserfreien Zustande (nach dem Trocknen bei 100—110° C.) mit derjenigen des Rohrzuckers identisch ist. Im wasserhaltigen Zustande sind die Maltosekrystalle nach der Formel $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$ zusammengesetzt[2]).

Bereits im Jahre 1847 hat Dubrunfaut[3]) angegeben, dass bei der Einwirkung des Malzextractes auf Amylum eine Zuckerart entstehe, die nicht mit dem Traubenzucker identisch sei, und die er deshalb als Maltose bezeichnete. Die Richtigkeit dieser Angabe ist neuerdings von mehreren Seiten, namentlich von E. Schulze[4]) und O' Sullivan[5]) bestätigt worden.

Der zuletzt genannte Forscher hat interessante Untersuchungen über den Einfluss des Ferments des Malzextractes auf die Stärke unter verschiedenen Bedingungen angestellt. Wurde Kleister mit einer Menge des Malzextractes, die 4—5 % des angewandten Amylum an fester Substanz enthielt, bei 30—60° C. kurze Zeit (5—10 Minuten) oder auch längere Zeit (mehrere Stunden) in Berührung belassen, so erfolgte die Bildung von Maltose und Dextrin nach folgender Gleichung:

$$\underbrace{C_{18}H_{30}O_{15}}_{\text{Amylum.}} + H_2O = \underbrace{C_{12}H_{22}O_{11}}_{\text{Maltose.}} + \underbrace{C_6H_{10}O_5}_{\text{Dextrin.}}.$$

Bei Temperaturen zwischen 64—70° C. ging die Spaltung nach folgender Gleichung vor sich:

$$2(C_{18}H_{30}O_{15}) + H_2O = C_{12}H_{22}O_{11} + 4(C_6H_{10}O_5)$$

Wurden endlich Temperaturen angewandt von 70° C. bis dahin, wo die Diastase zerstört wird, so erfolgte die Spaltung in folgender Weise:

$$4(C_{18}H_{30}O_{15}) + H_2O = C_{12}H_{22}O_{11} + 10(C_6H_{10}O_5).$$

Unter den angegebenen Bedingungen lieferte das Amylum nach O' Sullivan stets nur Maltose und Dextrin, und zwar entstanden die beiden Spaltungsproducte der Stärke bei den verschiedenen Temperaturen immer in den erwähnten Verhältnissen. Dies trat nicht ein, wenn die Untersuchungen in anderer als der ange-

---

1) Das Reductionsvermögen der Maltose ist geringer als dasjenige der Dextrose, indem 100 Theile der ersteren erst so viel Kupferoxyd wie 66—67 Thl. der letzteren reduciren.

2) Die Maltose hat man zunächst nur durch Einwirkung der Diastase oder des Malzes auf Amylum dargestellt. Unzweifelhaft bildet sie sich aber ebenfalls bei der Keimung stärkereicher Samen.

3) Vgl. Dubrunfaut, Annl. de Chm. et de Phys. 3. Ser. T. 21, p. 178.

4) Vgl. E. Schulze, Berichte d. deutschen chem. Gesellschaft. B. 7, S. 1047.

5) Vgl. O' Sullivan, Just's botan. Jahresbericht f. 1876. Thl. 2, S. 785.

gebenen Weise ausgeführt wurden, wenn z. B. die Einwirkung des Malzauszuges auf das Amylum zu lange fortdauerte, wenn der Malzextract eine stark saure Reaction zeigte, wenn er in zu erheblicher Menge oder in zu beträchtlicher Concentration zur Anwendung kam. Die dadurch herbeigeführten Abweichungen bestanden darin, dass das Dextrin theilweise unter Wasseraufnahme weiter in Maltose übergeführt wurde [1]), und dass die Maltose — zumal bei Gegenwart grösserer Säuremengen — in Dextrose überging.

Die Resultate der angeführten Untersuchungen berechtigen wohl zu dem Schluss, dass sich bei der Einwirkung des Malzextracts auf Kleister mehrere verschiedenartige Processe nach einander geltend machen. Einerseits haben wir es mit einem Spaltungsvorgange des Amylum in Maltose und Dextrin zu thun [2]), andererseits erfolgt dann weiter eine Bildung von Maltose auf Kosten des vorhandenen Dextrins, und eine Umwandlung der Maltose in Traubenzucker. Die Spaltungsprocesse scheinen unter allen Umständen sehr schnell ihrer Vollendung entgegengeführt zu werden, während die nachträgliche Maltose- sowie Traubenzuckerbildung langsamer von Statten geht. Als O' Sullivan Kleister bei 30—60° C. mit Malzextract digerirte, zeigte sich, dass die Reaction bereits nach wenigen Minuten vollendet war. Wirkte der Malzextract einige Stunden lang bei 30—60° C. auf den Kleister ein, so waren Maltose und Dextrin ebenfalls in dem Verhältnisse in der Flüssigkeit vorhanden, wie dies durch O' Sullivan's erste Gleichung zum Ausdruck gelangt. Die nachträgliche Maltose- oder Traubenzuckerbildung kommt erst unter dem Einflusse besonderer Umstände zu Stande [3]).

---

1) Dieser Process soll nach O' Sullivan unter Vermittelung des Ferments des Malzextractes erfolgen.

2) Dieser Spaltungsprocess verläuft nicht, wie gezeigt worden ist, unter allen Umständen in derselben Weise.

3) Ueber die Vorgänge, die bei der Einwirkung des Malzextracts auf Amylum zur Geltung kommen, hat viel Streit geherrscht. Lange Zeit war die Ansicht verbreitet, dass die Stärke in Folge der Wirkung der Diastase successive in Dextrin und dieses weiter in Zucker übergehe. Musculus (vgl. Annl. de Chm. et de Phys., 3. Ser., B. 60, S. 203) trat dieser Auffassung im Jahre 1860 entgegen. Nach Musculus soll die Stärke unter Wasseraufnahme in Dextrin und Zucker zerfallen. Dass das Amylum unter dem Einfluss der Diastase eine Spaltung erfährt, ist ebenfalls von E. Schulze und M. Märcker (vgl. Journal f. Landwirthschaft, 20. Jahrgang, S. 58) behauptet worden, und kann heute trotz des Widerspruchs von Payen (vgl. Compt. rend. T. 53, p. 1217) als eine Thatsache angesehen werden. Wenn

Der Körper, welcher die Spaltung der Stärke in Dextrin und eine Zuckerart (Maltose) herbeiführt, ist als ein Ferment zu betrachten und wird als Diastase bezeichnet. Kirchhof und de Saussure haben sich bereits mit den Substanzen beschäftigt, welche das Amylum aufzulösen vermögen; aber erst Payen und Persoz haben die Diastase in ziemlich reinem Zustande abgeschieden [1]). Die zuletzt genannten Forscher zeigten, dass wenn man zerkleinertes Gerstenmalz mit Wasser digerirt, eine Lösung erhalten wird, aus der auf Zusatz von Alkohol eine Substanz ausgefällt wird, die sich leicht wieder in Wasser auflöst. Die Lösung besitzt in hohem Grade die Fähigkeit, Stärke in Dextrin und Zucker zu verwandeln. Nach einer Methode, die hier nicht weiter beschrieben werden soll, möglichst gereinigt, stellte das von Payen und Persoz aus gekeimter Gerste abgeschiedene Ferment im trockenen Zustande eine amorphe, gelbliche, durchscheinende Masse dar. Wurde der Körper im feuchten Zustande auf 75° C. erwärmt, so verlor er seine Wirkung auf die Stärke. Dasselbe geschah, wenn die wässerige Lösung des Fermentes längere Zeit bei gewöhnlicher Temperatur aufbewahrt wurde. Im frischen Zustande wirkte das Ferment dagegen sehr energisch auf den Stärkekleister ein, so dass 1 Theil des Ferments im Stande war, 2000 Thl. Kartoffelstärke innerhalb weniger Minuten aufzulösen. Payen und Persoz ist es gelungen, die Diastase nicht nur aus der gekeimten Gerste, sondern ebenfalls aus Hafer-, Weizen-, Mais- sowie Reiskeimlingen abzuscheiden [2]).

Neuerdings hat sich zunächst Gorup-Besanez mit dem Studium ungeformter Fermente des Pflanzenkörpers beschäftigt [3]), und die Untersuchungen des genannten Forschers haben ergeben, dass Wicken-, Hanf- und Leinsamen sowie Gerstenkeimlinge eine

---

die Stärke eine gewisse Dextrin- sowie Zuckermenge geliefert hat, so kann die weitere Ueberführung des Dextrins in Zucker unter dem Einflusse der Diastase zunächst erst erfolgen, nachdem eine entsprechende Zuckermenge auf irgend eine Weise (Vergährung etc.) zerstört ist. Uebrigens sei bemerkt, dass der Process, der sich bei Einwirkung der Diastase auf die Stärke etc. geltend macht, noch bei weitem nicht in genügender Weise erforscht ist.

1) Vgl. ausführlichere historische Erörterungen bei Baranetzky: die stärkeumbildenden Fermente in d. Pflanzen. Leipzig, 1878. S. 4.

2) Diastase wurde von Payen und Persoz auch in den keimenden Kartoffelknollen aufgefunden.

3) Vgl. Gorup-Besanez, Bericht d. deutschen chm. Gesellschaft. 1874, S. 1478 und 1875, S. 1510.

Substanz enthalten, welche im Stande ist, Proteinstoffe in Peptone und Stärke in Dextrin und Zucker überzuführen [1]). Es muss als höchst wahrscheinlich angesehen werden, dass Gorup-Besanez es stets mit einem Gemisch zweier Fermente zu thun hatte, von denen das eine peptonbildend, das andere stärkeumbildend wirkte.

Im Anschluss an die soeben angeführten Beobachtungen, hat Will [2]) Piniensamen, Samen von Zea Mays und Bohnenkeimlinge auf einen Gehalt an Fermenten untersucht. Es ergab sich, dass das genannte Beobachtungsmaterial einen Körper enthielt, der energisch diastatisch zu wirken im Stande war; ein peptonbildendes Ferment konnte Will in seinen Untersuchungsobjecten aber nicht auffinden. Krauch [3]) hat kürzlich das Vorhandensein diastatisch wirkender Fermente in vielen Pflanzentheilen, z. B. im Holz der Rosskastanie, in den Blättern der Eiche, in keimenden Zwiebeln und Kartoffeln, sowie auch in Samen (Kürbissamen) nachgewiesen [4]).

Baranetzky [5]) hat ferner in den ungekeimten Samen von Pisum sativum und Mirabilis Jalapa, nicht aber in den Samen von Phaseolus multiflorus stärkeumbildende Fermente aufgefunden. Die Keimpflanzen der genannten und anderer Samen enthalten ebenfalls solche Fermente. Die Wirkung der aus Keimpflanzen dargestellten Fermentlösungen auf Amylum scheint meist eine viel energischere als diejenige der aus ruhenden Samen gewonnenen Fermentlösungen zu sein.

Von den vielen Versuchen, welche Baranetzky ausführte, um die Art der Wirkung der stärkeumbildenden Fermente auf Kleister zu prüfen, will ich hier nur einen einzigen specieller anführen.

Es dienten bei Zutritt des Lichtes erwachsene Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus zur Gewinnung der Fermentlösung. Die-

---

1) Gorup extrahirte die Fermente unter Benutzung von Glycerin nach der Wittichschen Methode. Im Lupinensamen ist nach Gorup kein Ferment vorhanden, das peptonbildend oder stärkeumbildend wirkt.

2) Vgl. Will, Versuchsstationen. B. 23. S. 78.

3) Vgl. Krauch: Ebendaselbst. S. 77.

4) Krauch (vgl. Versuchsstationen, B. 23, S. 102) hat constatiren können, dass eine wässerige Fermentlösung, die man auf 75—80° C. erwärmt, ihre Wirkungsfähigkeit völlig verloren hat, während trockene Diastase, die einer Temperatur von 120—125° C. mehrere Stunden lang ausgesetzt gewesen war, noch ganz kräftig auf Stärke einwirkte.

5) Vgl. Baranetzky: Die stärkeumbildenden Fermente in d. Pflanzen. Leipzig, 1878. S. 14.

selbe zeigte eine schwachsaure Reaction. Zu 76 Cc. Stärkekleister wurden 4 Cc. Fermentlösung zugegeben. In etwa 2 Minuten war völlige Auflösung des Kleisters eingetreten; nach ½ Stunde war keine Jodreaction mehr zu bemerken.

Zuckergehalt = 30.2 % [1]) (45.4 %).

Die zuckerhaltige Flüssigkeit wurde dann in 4 Portionen getheilt, von denen zwei zum Sieden erwärmt wurden, um die weitere Wirkung des Fermentes aufzuheben.

Nach 24 Stunden ergab die Bestimmung:

die nicht erwärmte Probe Zuckergehalt = 46.2 %
die erwärmte Probe Zuckergehalt = 30.2 „

Nach weiteren 48 Stunden:

die nicht erwärmte Portion Zuckergehalt = 60.0 % (90.2 %)
die erwärmte Portion Zuckergehalt = 31.7 „

Das wichtigste Ergebniss der bis jetzt angeführten Beobachtungen ist wohl dies, dass stärkeumbildende Fermente eine sehr grosse Verbreitung im Pflanzenreiche besitzen. Nicht nur im Malze begegnen wir einer Substanz, die im Stande ist, Amylum in Dextrin und Maltose zu spalten, sondern viele Keimpflanzen, Samen und anderweitige Pflanzentheile enthalten eine derartige Verbindung, und es ist zumal merkwürdig, dass selbst Samen, wie Lein- und Hanfsamen nicht frei von dem Fermente sind, trotzdem ihnen das Amylum vollkommen fehlt, während ihre Keimung allerdings mit einer Stärkebildung verbunden ist.

Es darf wohl angenommen werden, dass man es in allen Fällen mit ein und demselben Körper (Diastase) zu thun hat, und dass die Spaltung des Amylum in Folge einer katalytischen Wirkung des Fermentes zu Stande kommt. Was die chemische Natur des Fermentes anbelangt, so stehen noch immer zwei Anschauungen einander gegenüber. Die Vertreter der einen Ansicht sehen die Diastase als ein allerdings noch nicht im völlig reinen Zustande dargestelltes chemisches Individuum an, dem aber die eigenthümliche Fähigkeit zukommt, Amylum zu spalten [2]). Die Vertreter der zweiten Anschauung leugnen die Existenz einer besonderen Verbindung, der allein die stärkeumbildende Kraft eigen sein soll; sie glauben vielmehr, dass jeder Eiweissstoff, der sich

1) Die Zahlen drücken Procente der angewandten wasserfreien Stärkemenge aus. In den Parenthesen sind die Zahlen angegeben, welche die der Zuckermenge entsprechende Maltosemenge ausdrücken.

2) Namentlich sind Payen und Persoz als Vertreter dieser Ansicht zu nennen.

in einem bestimmten Zustande der Zersetzung befindet, im Stande ist, umbildend auf Amylum einzuwirken. Dies soll sogleich geschehen, wenn sich die Atome der Eiweisssubstanz in einem Zustande der Bewegung befinden, und diese Bewegung auf die Stärkemoleküle übertragen wird [1]). Es ist hier nicht der Ort, auf die bestehenden Controversen einzugehen. Nur so viel sei bemerkt, dass ich mich den Vertretern der ersteren Ansicht anschliesse, welche die Diastase als ein besonderes chemisches Individuum ansehen, und dass es Baranetzky in seiner mehrfach citirten Abhandlung keineswegs gelungen ist, die Unhaltbarkeit dieser Auffassung darzuthun.

Wenn wir sehen, dass die Diastase sehr energisch auf Stärkekleister einwirkt, so liegt es offenbar nahe, die Frage aufzuwerfen, ob das Ferment nicht ebenfalls im Stande ist, die nicht aufgequollenen, unveränderten Stärkekörner aufzulösen. Diese Frage liegt um so näher, als die Amylumkörner in den Pflanzenzellen ja thatsächlich sehr häufig eine Auflösung erfahren, und die Diastase, wie gezeigt worden ist, eine im vegetabilischen Organismus grosse Verbreitung besitzende Substanz repräsentirt. Die meisten Forscher, welche sich mit Untersuchungen über den Einfluss der Diastase auf Amylumkörner beschäftigten, sind zu dem Resultate gelangt, dass das Ferment nicht im Stande sei, dieselben zu verändern. Baranetzky [2]) sieht mit Recht die Ursache dieser negativen Resultate in dem Umstande begründet, dass die früheren Experimentatoren meist eine Stärkesorte, nämlich Kartoffelstärke, benutzten, die verhältnissmässig sehr langsam von der Diastase aufgelöst wird. Wenn man Weizen- oder Buchweizenstärke in Anwendung bringt, so ist es dagegen leicht, sich davon zu überzeugen, dass die Körner von dem Ferment bei gewöhnlicher Temperatur in ganz ähnlicher Weise aufgelöst werden, wie es z. B. in den keimenden Samen selbst geschieht. Baranetzky hat neuerdings eingehendere Untersuchungen über die hier in Rede stehenden Verhältnisse angestellt, und es hat sich ergeben, dass eine bestimmte Amylumsorte nicht nur von dem Fermente, welches aus derselben Pflanze, der die Stärke entstammte, gewon-

1) Solche Ansichten hat z. B. Mulder in seiner Chemie des Biers ausgesprochen. Auch Baranetzky ist der Meinung, dass sich zersetzende Eiweissstoffe die Spaltung des Amylum herbeiführen.

2) Vgl. Baranetzky: Die stärkeumbildenden Fermente in d. Pflanzen. 1878. S. 38.

nen war, sondern von jeder Diastase enthaltenden Flüssigkeit angegriffen wird [1]).

Nach Baranetzky erfolgt die Auflösung mancher Amylumkörner, z. B. derjenigen aus den Samen von Phaseolus multiflorus und Quercus pedunculata, unter Vermittelung der Diastase ausserhalb der Pflanze in der Weise, dass zunächst die inneren Theile der Körner angegriffen werden. Der Auflösungsprocess schreitet mehr und mehr von innen nach aussen fort, bis schliesslich die Gesammtmasse der Granulose verschwunden ist. Es bleibt ein zart aber scharf contourirtes Skelet von Stärkecellulose zurück, das schliesslich aber ebenfalls aufgelöst wird [2]). Bei anderen Stärkekörnern, z. B. denjenigen aus der Kartoffelknolle, schreitet die Auflösung von der Peripherie aus nach innen fort [3])[4]).

Ueberblicken wir die gesammten vorstehenden Erörterungen, so ergiebt sich, dass die Keimpflanzen in sehr vielen Fällen eine Zuckerart enthalten. So leicht es gelingt, dies auf mikrochemischem Wege zu constatiren, so schwierig ist es, in jedem einzelnen Falle genau zu sagen, mit welchen Zuckerarten man es zu thun hat. Zwar ist es sicher, dass alle Pflanzentheile, welche Amylum einschliessen und aus denen sich Fermentlösungen gewinnen lassen, Dextrose und Maltose enthalten können, aber ob sie daneben Laevulose führen, oder ob vielleicht die Gesammtmenge der Maltose bereits in Dextrose übergegangen ist, darüber giebt uns die rein mikrochemische Untersuchung keinen Aufschluss. Es ist übrigens sicher für uns ziemlich gleichgültig, ob wir in den

---

1) Nach Baranetzky scheint die Gegenwart einer geringen Säuremenge unerlässlich für das Zustandekommen des Auflösungsprocesses der Stärke durch Diastase zu sein.

2) Die Phaseolusstärke verliert ihre Granulose in Berührung mit Diastase ziemlich schnell. Das völlige Verschwinden der Stärkecellulose erfolgt bei gewöhnlicher Temperatur aber erst nach 4—5 Tagen.

3) Stärkekörner verschiedenen Ursprungs verhalten sich also durchaus nicht gleichartig in Berührung mit Diastase. Bezüglich vieler Einzelheiten müssen wir aber auf Baranetzky's Abhandlung selbst verweisen.

4) Dass der Auflösungsprocess der Stärkekörner im Wesentlichen in derselben Weise ausserhalb und innerhalb des vegetabilischen Organismus erfolgt, zeigt sich namentlich deutlich, wenn man die Angaben Baranetzky's mit denjenigen von Sachs (vgl. Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. zu Wien, 1859, B. 37, S. 57 und botan. Zeitung, 1862, N. 19) über das Verhalten des Amylum bei der Keimung vergleicht. Wir kommen weiter unten auf die letzteren zurück und bemerken hier nur, dass die Stärkekörner bei der Keimung von Phaseolus multiflorus von innen nach aussen corrodirt werden, während z. B. bei der Keimung des Weizens das Entgegengesetzte der Fall ist.

Keimpflanzen dieser oder jener Zuckerart begegnen, denn dieselben sind sämmtlich als physiologisch gleichwerthige Substanzen zu betrachten. Aus diesem Grunde empfiehlt es sich auch in vielen Fällen der Frage, ob ein Pflanzentheil Traubenzucker oder Fruchtzucker etc. führt, vom rein physiologischen Standpunkte aus keine speciellere Aufmerksamkeit zu schenken, und kurzweg von Glycose zu sprechen, wenn man einer Verbindung in der Pflanze begegnet, die Kupferoxyd unmittelbar zu reduciren im Stande ist [1]).

Zur mikrochemischen Nachweisung der Glycose in den Pflanzenzellen verfährt man nach dem Vorgange von Sachs [2]) bekanntlich derartig, dass man die Längs- oder Querschnitte 2—3 Minuten lang in concentrirter Kupfervitriollösung verweilen lässt, dieselben dann oberflächlich mit Wasser abspült und in heisse Kalilauge, die auf 1 Gewth. Wasser 1 Gewth. kaustisches Kali enthält, legt. Bei Gegenwart von Glycose entsteht in den Zellen ein zinnober- bis mennigrother Niederschlag von Kupferoxydul [3]).

Die Körper, welche man gewöhnlich als Fette bezeichnet, kommen im pflanzlichen Organismus sehr häufig vor, und sie treten gerade in Samen als Reservestoffe oft in sehr beträchtlichen Quantitäten auf. Es existirt kein Samen, der völlig fettfrei wäre. Allerdings ist aber der Fettgehalt verschiedener Samen ein sehr verschiedener. Weizen- und Haferkörner enthalten z. B. 1—2 $^0/_0$ Fett; Erbsensamen 2—3 $^0/_0$. Maiskörner sind schon fettreicher; sie enthalten 5—8 $^0/_0$ Fett. Baumwollen und Leinsamen enthalten über 30 $^0/_0$ und Rapssamen 40—50 $^0/_0$ Fett [4])[5]).

1) Zuweilen enthalten Pflanzen, abgesehen von Zuckerarten, Körper, die reducirend auf Kupferlösung einwirken können. Wir haben erfahren, dass Kürbiskeimlinge Glutaminsäure enthalten können, und nach Angaben von Hlasiwetz und Habermann reducirt dieser Körper alkalische Kupferlösung sehr energisch. Vgl. Journal f. prakt. Chm. Neue Folge. B. 7. S. 397.

2) Vgl. Sachs, Flora. 1862. S. 289.

3) Diese Reaction kann durch Zuckerarten und ebenso durch Dextrin hervorgerufen werden, denn das letztere geht ja so leicht in alkalischer Lösung in Traubenzucker über. Rohrzucker bewirkt die Reduction nicht; bei Gegenwart dieses Körpers nimmt das mit Kupferlösung getränkte Gewebe beim Eintauchen in Kali eine schön blaue Färbung an. Man vgl. auch über den mikrochemischen Nachweis von Glycose in Pflanzenzellen einige Angaben von Pfeffer in Pringsheim's Jahrbüchern f. wissenschaftl. Botanik, B. 8, S. 538.

4) Ueber den Fettgehalt verschiedener Samen vgl. man auch die Abhandlungen von Zöhl (Wissenschaftl. prakt. Forschungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, B. 1, S. 140) und von Breiholz (Inaugural-Dissertation, Jena, 1878).

5) Die Samen, welche Pflanzen tropischer Gegenden produciren, scheinen im

Die Fette zeichnen sich, was für uns von besonderer Wichtigkeit ist, durch einen hohen Kohlenstoff- und geringen Sauerstoffgehalt vor anderen Pflanzenstoffen aus [1]). Entweder sind die Fette flüssig, und sie werden dann als fette Oele bezeichnet, oder sie sind bei gewöhnlicher Temperatur fest, gehen dann aber beim Erwärmen schon bei Temperaturen unter 100° C. in den flüssigen Zustand über. Alle Fette sind specifisch leichter als Wasser und völlig unlöslich in dieser Flüssigkeit. Von Aether werden die Fette dagegen leicht aufgenommen, ein Verhältniss, das bei der Untersuchung von Pflanzenorganen auf ihren Fettgehalt vielfältige Berücksichtigung findet.

Wird Samenpulver mit Aether behandelt und die gewonnene Lösung eingedampft, so erhält man einen gelblichen Rückstand, der hauptsächlich aus Fettsubstanz besteht, daneben aber noch anderweitige Körper z. B. Farbstoffe, Wachs und Cholesterin [2]) enthalten kann.

Die Fettsubstanz eines bestimmten Samen besteht nun nicht — dies ist besonders zu betonen — in ihrer Gesammtmasse aus einer einzigen chemischen Verbindung; vielmehr repräsentirt sie ein Gemenge verschiedener Körper. Zunächst enthält das Fett Glyceride (wohl meist Triglyceride) verschiedener Säuren, z. B. der Capronsäure, Myristinsäure, Stearinsäure, Oelsäure, Ricinölsäure etc. Neben diesen Glyceriden enthält das Fett mancher Samen aber nachgewiesenermassen bedeutende Mengen freier Säuren. König [3]) hat darüber neuerdings eingehendere Untersuchungen angestellt und ist z. B. zu folgenden Ergebnissen gelangt:

Das Fett der Roggenkörner — der Wickensamen enthielt

	Roggenkörner	Wickensamen
Oelsäure	91.6 %	96.3 %
Feste Säuren	8.1 „	2.1 „
Glycerin	1.3 „	1.6 „

Ebenso enthält das Fett aus Haferkörnern und Leinsamen neben Glyceriden freie Säuren.

Allgemeinen fettreicher als die Samen solcher Gewächse zu sein, welche der gemässigten oder kalten Zone angehören.

1) Nach König (vgl. Versuchsstationen, B. 13, S. 246) enthält das Rapssamenfett z. B. 77.78 % C, 12 % H und 9—10 % O, das Fett aus Gerstenkörnern aber 76 % C, 12 % H und 12 % O.

2) Cholesterin, eine in Aether lösliche Substanz, kommt in Roggen- sowie Weizenkörnern vor. Vgl. Ritthausen, Eiweisskörper, S. 99. Erbsensamen enthalten 0.025—0.055 % Cholesterin. Vgl. Gmelin-Kraut's Handbuch, B. 4, S. 2091.

3) Vgl. König, Versuchsstationen. B. 17. S. 13.

Zweites Capitel.

Mikrochemische Befunde über die Bedeutung der Kohlehydrate und Fette als Baustoffe der Zellhaut.

Wenn es darauf ankommt, das Verhalten verschiedener Substanzen beim Stoffwechsel in der Pflanze zu verfolgen, so kann man sich entweder mikrochemischer oder makrochemischer Methoden bedienen. Der experimentirende Pflanzenphysiolog wird, je nach den Zwecken, die er im Auge hat, bald diese, bald jene Methode bei der Ausführung seiner Untersuchungen in Anwendung bringen müssen, oder gar beide Methoden gemeinschaftlich benutzen. Um die Begründung und weitere Ausbildung mikrochemischer Methoden hat sich namentlich Sachs ein grosses Verdienst erworben, und die Bedeutung derselben ist zumal darin zu suchen, dass sie uns in den Stand setzen, die Vertheilung mancher in der Pflanze auf der Wanderung begriffenen Stoffe in den einzelnen Geweben und Zellen zu constatiren. Durch mikrochemische Untersuchungen können selbstverständlich ungemein wichtige Anhaltspunkte zur Beurtheilung der genetischen Beziehungen der Pflanzenstoffe zu einander gewonnen werden, Anhaltspunkte, die keine makrochemische Analyse zu liefern vermag. Diese letztere wird dagegen zur Anwendung kommen müssen, wenn es sich darum handelt, die quantitativen Verhältnisse, in denen die Körper beim Stoffwechsel zersetzt oder gebildet werden, zu ermitteln, und solche Untersuchungen sind zumal für die Erlangung tieferer Einsicht in das Wesen der Stoffwechselprocesse von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Wir wollen in diesem Capitel versuchen, ein Gesammtbild derjenigen Resultate zu entwerfen, zu denen man bis jetzt mit Hülfe mikrochemischer Untersuchung über das Verhalten der Kohlehydrate und Fette bei der Zellstoffbildung in der Keimpflanze gelangt ist. Zunächst erscheint es erforderlich, auf einige in dieser Hinsicht angestellte Specialuntersuchungen genauer einzugehen; diesen Betrachtungen werden dann Erörterungen allgemeinerer Natur folgen.

Im Jahre 1859 hat Sachs eine Arbeit von fundamentaler Bedeutung über die Keimung von Phaseolus multiflorus (Schmink-

bohne) veröffentlicht[1]). Er behandelt in derselben zunächst die Verhältnisse, welche sich auf die Beschaffenheit des ruhenden Samen und auf die Stoffvertheilung in demselben beziehen.

In der Samenschale, und dicht von ihr umschlossen, liegt der Keim. Der Embryo besteht aus den beiden verhältnissmässig sehr grossen Cotyledonen[2]) sowie der Keimaxe mit den beiden Primordialblättern. Die Cotyledonen werden aus drei Gewebeformen, der Epidermis, dem Parenchym und den Zellensträngen, zusammengesetzt. Die Zellen der Epidernis sind ziemlich dünnwandig; sie enthalten niemals Stärke. Die Oberhaut der Cotyledonen des ruhenden Samen ist stets frei von Spaltöffnungen. Wenn die Cotyledonen bei der Keimung mit Erde bedeckt bleiben, so erfolgt die Bildung der Spaltöffnungen auch bei der Entwickelung der jungen Pflanzen nicht. Sie findet dagegen statt, wenn die Keimblätter aus dem Boden hervorragen und dem Einflusse des Lichts ausgesetzt werden. Das Parenchym der Cotyledonen repräsentirt in erster Linie das Nahrungsreservoir für die Keimpflanze. Die Zellen des Parenchyms sind im Allgemeinen rundlich polyedrisch; sie lassen grosse, auch im ruhenden Samen mit Luft erfüllte Zwischenräume zwischen sich. Als Inhaltsstoffe der Parenchymzellen sind Eiweissstoffe (Proteinkörner) und Amylumkörner zu nennen. Die letzteren besitzen theilweise eine beträchtliche Grösse. Die Zellenstränge verzweigen sich in den Cotyledonen vielfältig. Die Zellenstränge bestehen aus sehr kleinen, langen, dünnhäutigen Zellen, welche dicht mit Eiweissstoffen angefüllt sind, aber niemals Stärke führen. Im ruhenden Samen enthalten die Stränge niemals Spiralgefässe; bei der Keimung treten solche aber in ihnen auf.

Die Keimaxe besteht aus der Epidermis, der Rinde, dem producirenden Gewebe[3]), dem Mark und dem Urparenchym der Terminalknospe sowie der Wurzelspitze. Die Epidermis besteht aus nur einer Zellschicht. Die Zellen führen Eiweiss, aber kein Amylum. Das Parenchym der Rinde und des Marks ist gleichartig gebaut. Die einzelnen Zellen sind von tafelförmiger Beschaffenheit und führen neben Proteinstoffen kleine Stärkekörner. Sämmt-

1) Vgl. Sachs, Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. zu Wien. 1859. B. 37. S. 57.

2) Bei Phaseolus multiflorus kommt es nur selten vor, dass der Same statt zwei Cotyledonen deren drei besitzt. Bei Ph. vulgaris ist dies indessen häufiger.

3) Als producirendes Gewebe bezeichnet Sachs das zwischen Rinde und Mark liegende Gewebe.

liche Elemente des producirenden Gewebes sind sehr dünnwandig; sie führen Proteinstoffe, enthalten aber keine Spur von Stärke. Die Zellen des Urparenchyms der Wurzelspitze und Stammspitze führen nur Eiweisskörper.

Die Primordialblätter bestehen aus dem Stiel und der Lamina. Blattnerven sind bereits im ruhenden Keim der Hauptsache nach vorhanden.

Ueberblickt man die gesammten Angaben von Sachs über die Stoffvertheilung im ruhenden Embryo von Phaseolus, so zeigt sich, dass nur die Zellen des Parenchyms der Cotyledonen, der Rinde, des Marks und der Blattnerven neben Proteinstoffen gleichzeitig Amylum führen, während alle übrigen Elemente wohl Eiweisskörper, aber keine Stärke enthalten.

Wenn es darauf ankommt, die Verhältnisse, die sich bei der Keimung des Bohnensamen geltend machen, und die sich mit Hülfe mikrochemischer Methoden beobachten lassen, richtig zu verstehen, so ist es vor allen Dingen erforderlich, stets zu bedenken, dass in den Cotyledonen ins Besondere diejenigen Stoffe aufgespeichert sind, welche das Material zur Entwickelung des Embryo liefern sollen. Die Cotyledonen werden fortdauernd ärmer an Reservestoffen; dieselben wandern in die übrigen Organe der Keimpflanze, um hier zur Neubildung von Zellen Verwendung zu finden.

Sachs konnte constatiren, dass bereits dann, wenn die Bohnensamen 18 Stunden lang bei einer Temperatur von 15—20° R. in einem feuchten Boden geruht hatten, in den Zellen der Keimaxe, die sich in unmittelbarer Nähe der Ansatzstellen der Cotyledonen befanden, eine beträchtliche Zunahme des Amylumgehaltes erfolgt war. Die Stärke verbreitet sich von den Cotyledonen ausgehend theils nach oben in das erste Stengelglied, theils nach unten in die Wurzel[1]). Dieses letztere Organ wird bekanntlich zuerst bei der Keimung aus der Samenschale herausgedrängt; erst später treten die Stengeltheile hervor, und in dem Masse, als die Keimtheile sich entwickeln, verschwindet das Amylum aus dem Gewebe der Cotyledonen. Dabei ist zu beachten, dass die Zellen derselben, welche der Keimaxe am nächsten liegen, zuerst ihr Amylum verlieren. Ebenso ist es interessant, dass diejenigen Ele-

1) Es mag hier bereits darauf hingewiesen werden, dass die Stärkekörner als solche natürlich nicht von einer Zelle in die andere übergehen können. Vielmehr muss aus dem Amylum eine Substanz entstehen, die von dem Orte der Ablagerung zu dem Orte des Verbrauchs translocirt werden kann, und die Fähigkeit besitzt, sich daselbst zunächst wieder in Form von Stärkekörnern niederzuschlagen.

mente des Parenchyms der Samenlappen zuerst ihre Stärke abgeben, die entfernt von den Zellensträngen sind. Daraus erhellt, dass das Amylum in den Zellen des Parenchyms, nicht aber in denjenigen der Zellenstränge translocirt wird.

Die Stärkekörner der Cotyledonen werden, wenn ihre Substanz eine Translocation erfahren soll, nicht sofort in ihrer Gesammtmasse aufgelöst, vielmehr schreitet dieser Auflösungsprocess langsam fort. Zunächst wird bei der Bohnenstärke der innere Theil der Körner angegriffen, dann bilden sich von innen heraus Canäle, die allmählich bis zur Oberfläche vordringen, und die Amylumkörner zerfallen in mehrere Stücke [1]).

Während der ersten Keimungsstadien der Samen von Phaseolus tritt in den Cotyledonen niemals Glycose auf. Nur bei weiterer Entwickelung des Embryo liessen sich in den Zellen an der Basis der Keimblätter Spuren von Glycose nachweisen. In der Keimaxe ist dieser Körper dagegen bereits nach 24stündiger Quellung der Samen aufzufinden.

Bezüglich des Verhaltens der in den Zellen des Parenchyms der Cotyledonen vorhandenen Eiweissstoffe ist zu erwähnen, dass dieselben bei Beginn der Keimung zugleich mit den Amylumkörnern aufgelöst und fortgeführt werden.

Wenn sich der obere Theil der Wurzel im weiteren Verlaufe der Keimung streckt, so verschwindet fast alle Stärke aus demselben. Im Mark und in der Rinde der Wurzel, ebenso im Parenchym des hypocotylen Gliedes und der Plumula ist noch viel Amylum vorhanden. Zu beachten ist ferner, dass die Stärke bis in die jüngsten eben erst angelegten Blätter hineinwandert. Der Glycosegehalt der Keimaxe ist während des zweiten Keimungsstadiums beträchtlich grösser geworden.

Bei weiterem Fortgange der Keimung bilden sich zumal die Nebenwurzeln erster Ordnung, die bereits angelegt waren, weiter aus, und es erfolgt eine beträchtliche Streckung, sowie die Aufrichtung des Stengels. Mit der Streckung der Zellen und der Verdickung der Membranen geht die Entleerung der Cotyledonen Hand in Hand. Im Mark und in der Rinde des hypocotylen Gliedes ist Amylum reichlich vorhanden. Von hier aus wird dasselbe durch den Stärkering, einem Gewebe, welches das producirende Gewebe des Stengels und die Aussenseiten der Stränge der Blatt-

1) Eingehendere mikrochemische Untersuchungen über die Keimung der Samen von Trifolium pratense hat H. de Vries (vgl. landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 6, S. 465) angestellt. Auch hier spielt die Stärke eine wichtige Rolle.

stiele und Nerven umgiebt, den oberen Regionen der Keimpflanze zugeführt.

Schliesslich entfalten sich die Primordialblätter völlig, ein Vorgang, der mit lebhafter Streckung der Stiele derselben verbunden ist. Die Bewegungsorgane der Blätter nehmen ihre bleibende Gestalt und Grösse an und werden fähig, die periodischen Bewegungen auszuführen. Ueberdies bilden sich Nebenwurzeln zweiter Ordnung. Die jungen Pflanzen verlieren mehr und mehr den Charakter von Keimpflanzen, und die selbstständige Vegetation beginnt. Stärke und Eiweissstoffe sind völlig aus den Cotyledonen verschwunden.

Die Keimungsgeschichte der Gramineensamen, welche ebenfalls von Sachs eingehend studirt worden ist, besitzt zumal deshalb hohes Interesse, weil ein eigenthümlich entwickeltes Saugorgan, das Scutellum, vorhanden ist, dem die wichtige Aufgabe zufällt, die Reservestoffe des Endosperm dem Embryo zuzuführen [1]).

Das Schildchen ist auf seiner dem Endosperm zugewendeten Seite mit einem eigenthümlichen Epithel überkleidet. Die Epithelzellen sind sowohl beim Mais als auch beim Weizen, Roggen und der Gerste vorhanden [2]). Zwischen dem Endosperm und dem Epithel liegt eine durchsichtige Schicht, die, wie genaue Prüfungen ergeben haben, aus zusammengedrückten Endospermzellen besteht, deren Lumen fast gänzlich verschwunden ist. Das Vorhandensein der erwähnten aus zusammengedrückten Zellen bestehenden Schicht gewährt insofern einiges Interesse, als alle Reservestoffe des Endosperm dieselbe, wenn das Cylinderepithel des Schildchens sie bei der Keimung aufsaugt, durchdringen müssen. Die Zellen des Epithels führen Proteinstoff und Fett. Niemals, weder vor noch während der Keimung, sind in ihnen Stärke, Dextrin oder Zucker nachzuweisen. Dieser letztere merkwürdige Umstand ist von grossem Interesse.

Das Parenchym, welches die Hauptmasse des Schildchens bildet, besteht aus polyedrisch rundlichen Zellen, die kleine mit Luft erfüllte Intercellularräume zwischen sich lassen. Die Zellen des Parenchyms enthalten Eiweissstoffe.

Bemerkt sei noch, dass das Scutellum der Gräser bereits im

---

1) Auf den morphologischen Charakter des Scutellums habe ich bereits im ersten Hauptabschnitte kurz hingewiesen.

2) Es unterliegt keinem Zweifel, dass das Schildchen allen Grassamen eigenthümlich ist. Die hier folgenden Angaben über das Scutellum und die Keimung beziehen sich zumal auf die Verhältnisse, wie Sachs sie beim Mais ermittelte.

ruhenden Samen völlig entwickelt ist. Die Zellen desselben theilen und strecken sich nicht bei der Keimung. Die einzige Aufgabe des Schildchens besteht darin, die stickstofffreien sowie stickstoffhaltigen Reservestoffe des Endosperm aufzusaugen und dem Embryo zuzuführen.

Die erste Entwickelung des letzteren bei der Keimung scheint auf Kosten derjenigen Stoffe zu geschehen, welche seine Zellen selbst enthalten. Es ist nämlich während der ersten Keimungsperiode im Endosperm das Auftreten von Glycose nicht zu constatiren, und ebenso erfahren die Amylumkörner im Endosperm während dieser Zeit keine Corrosion [1]). Die Auflösung der Stärkekörner des Weizens erfolgt bei weiterem Fortgange der Keimung in sehr eigenthümlicher Weise. Bereits A. Gris hat im Jahre 1860 in den Annl. d. sc. natr. Beobachtungen über diesen Gegenstand veröffentlicht, aber die Angaben des genannten Forschers erscheinen Sachs nicht als ganz richtig.

Die Corrosion der Stärkekörner der Weizensamen beginnt damit, dass sich eine deutliche Schichtung an denselben zeigt; dann treten canalartige Zeichnungen auf, wodurch offenbar die Stellen der Körner bezeichnet werden, welche der Auflösung den geringsten Widerstand entgegensetzen, denn später zerfallen die Körner jenen Canälen entsprechend. Die Auflösung der Maisstärke erfolgt im Wesentlichen in derselben Weise wie diejenige der Amylumkörner des Weizens. Die Corrosion schreitet ebenfalls beim Mais von aussen nach innen allmählich weiter fort, und zuletzt zerfallen die Körner ebenso in einzelne Stücke.

In dem Masse, als die Stärke im Endosperm aufgelöst wird, tritt in den Zellen desselben Glycose auf. Diese erscheint zunächst in den Partieen des Endosperm, welche dem aufsaugenden Schildchen am nächsten liegen. Die Reservestoffe wandern nun in den Keim über und werden in diesem zur Bildung der Wurzeln und Blätter verwandt. In allen Parenchymzellen des Keims finden sich allmählich Amylum und Zucker ein, und diese Stoffe verschwinden erst dann wieder aus den Zellen, wenn die Streckung derselben vollendet ist [2]). Die gestreckten Elemente der Gefässbün-

---

1) Dies erfolgt beim Weizen erst, wenn die Wurzel 1, beim Mais erst, wenn sie 3 Ctm. Länge erreicht hat.

2) Wenn das erste Internodium der Gramineenkeimpflanzen bereits gestreckt und das Amylum sowie der Zucker aus dem Parenchym desselben verschwunden sind, so führt nur die Gefässbündelscheide des genannten Pflanzentheiles noch Stärke. Die Zellen der Gefässbündelscheide vermitteln offenbar den Uebergang der Stärke aus

del des Keims enthalten dagegen niemals Kohlehydrate (weder Amylum noch Glycose); sie sind aber stets reich an Eiweissstoffen und dienen zur Translocation derselben.

Wenn man das hier Gesagte überblickt, so wird man zu der Ueberzeugung geführt, dass alle Reservestoffe, (Proteinstoffe sowie Kohlehydrate) die aus dem Endosperm in den Keim übergehen, das Schildchen durchwandern müssen. Sehr merkwürdig ist dabei der Umstand, dass das Cylinderepithel desselben niemals Amylum, Zucker oder Dextrin führt. Die Zellen des Endosperm und des Keims enthalten diese Stoffe während der Keimung in reichlichen Quantitäten, das Epithel ist aber dennoch stets frei davon [1]).

Wie bereits früher angedeutet worden ist, liefert nicht unter allen Umständen das Amylum das Material zur Zellstoffbildung in der Keimpflanze. Viele ruhende Samen enthalten gar keine Stärke; sie sind aber dafür reich an anderweitigen stickstofffreien Verbindungen, namentlich an Zellstoff und Fett.

Bei der Keimung der Samen von Phoenix dactylifera ist der in Form von mächtigen Verdickungsschichten im Endosperm bereits organisirte Zellstoff als stickstofffreies Reservematerial für den sich entwickelnden Embryo anzusehen [2]). Die Cellulose, welche der vegetabilische Organismus erzeugt, betheiligt sich in der Regel nicht weiter an dem pflanzlichen Stoffwechsel. Um so interessanter ist es, dass der Zellstoff bei der Keimung der Dattelsamen in Glycose sowie Amylum übergeht, und dass diese Körper schliesslich zur Neubildung von Zellen Verwendung finden.

Weder in den Zellen des Embryo noch in denjenigen des Endosperm der Dattelsamen ist Stärke vorhanden. Die Zellen des ruhenden Samen führen dagegen Eiweissstoffe sowie fettes Oel. Die Verdickungsschichten der Elemente des Endosperm scheinen aus sehr reiner Cellulose zu bestehen.

Die Reservestoffe, welche der kleine Keim des Dattelsamen enthält, genügen höchstens dazu, den Beginn der Entwickelung desselben zu ermöglichen. Bei weiterem Fortgange der Keimung

---

dem Scutellum in die noch in Entwickelung begriffenen Keimtheile. Man vgl. auch Sachs, Flora, 1862, S. 316 und preussische Annalen d. Landwirthschaft, 1862.

1) Eingehende mikrochemische Untersuchungen über den Keimungsprocess des Weizensamen stellte Just (vgl. Separatabdruck aus den Annl. d. Oenologie, B. 3, H. 4) an.

2) Der Keimungsprocess des Dattelsamen ist ebenfalls von Sachs (vgl. botan. Zeitung, 1862, S. 241) eingehend studirt worden.

müssen die Substanzen, welche im Endosperm abgelagert sind, in Anspruch genommen werden. Es wurde angedeutet, dass der Dattelsamen Fett enthält. Die Quantität desselben ist aber eine nur geringe, und sie reicht bei weitem nicht aus, um die bedeutenden Glycose- sowie Stärkemengen, welche thatsächlich bei der Keimung entstehen, zu bilden. Die Hauptmasse der genannten Kohlehydrate geht vielmehr aus der im Endosperm als stickstofffreier Reservestoff abgelagerten Cellulose hervor.

Auch bei der Dattel wird der Uebergang der Reservestoffe in den Keim durch ein Saugorgan vermittelt. Der bedeutungsvolle Unterschied zwischen diesem Saugorgan und demjenigen der Gräser besteht aber darin, dass das erstere bei der Keimung selbst wächst, während das letztere, wie wir gesehen haben, keinen Veränderungen unterliegt. Damit im Zusammenhange steht die Thatsache, dass die Zellen des Saugorgans der Dattel während der Keimung Glycose sowie Amylum führen [1]), während diese Stoffe dem Saugorgan der Gramineen fehlen. Hat die Evolution des Embryo der Samen von Phoenix datylifera begonnen, so tritt in der Cotyledonarscheide feinkörnige Stärke auf. In den Zellen derselben ist Zucker bis zum Ende der Keimung nachzuweisen; dagegen verschwindet er aus den Elementen der Wurzel und der Blätter, wenn dieselben ihre völlige Streckung erfahren haben. Das Parenchym der Cotyledonarscheide muss offenbar, wie Sachs betont, als leitendes Gewebe für den Zucker angesehen werden, den es aus dem Saugorgan den wachsenden Keimtheilen zuführt.

Das Saugorgan des Dattelsamen vergrössert sich, wie angedeutet worden ist, bei der Keimung erheblich, und in dem Maasse, als dies geschieht, werden die Verdickungsschichten der Endospermzellen erweicht. Sie verwandeln sich in eine teigartige Masse, aber es gelingt niemals Traubenzucker- oder Dextrinbildung bei diesem Processe zu beobachten. Die Auflösung der Verdickungsschichten folgt dem Wachsthum des Saugorgans genau, und dieser Umstand zeigt, dass die Ursache jenes Vorganges in dem letzteren, nicht aber im Endosperm zu suchen ist. Das Saugorgan muss einen Körper an das Endosperm abgeben, der die Lösung der als Reservestoff functionirenden Cellulose bedingt [2]).

---

1) In den Elementen der Gefässbündel des Saugorgans der Dattel sind niemals Zucker sowie Amylum vorhanden. Die genannten Zellen führen aber Eiweissstoffe.

2) Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Verdickungsschichten der Zellen des mächtigen, harten Endosperm der Samen von Phytelephas macrocarpa ebenfalls als Reservestoffe functioniren.

Für die Entwickelung des Embryo vieler Samen spielt endlich das Fett die Rolle des stickstofffreien Reservestoffs. In dem Masse, als die Streckung und Neubildung der Zellen erfolgt, verschwindet das Fett, und darin liegt eben der Hauptbeweis dafür, dass das fette Oel das Material zur Cellulosebildung liefert. Sachs[1]) hat nun die ungemein wichtige Thatsache constatirt, dass sich bei der Keimung ölhaltiger Samen zunächst Stärke und Glycose bilden. Unter Umständen wird sehr viel Amylum producirt; in anderen Fällen geht das Fett aber zum grössten Theil in Glycose über, und es entsteht nur eine sehr geringe Stärkequantität. Keine Annahme ist so ungezwungen und erklärt die Erscheinungen auf so einfache Weise als diese, dass die Kohlehydrate aus den Elementen des fetten Oeles gebildet werden. In dem Masse, als die Fette verschwinden, treten Amylum und Zucker in den Keimpflanzen auf, und diese Producte finden dann zur Zellstoffbildung Verwendung[2]).

Sachs theilt in der citirten Abhandlung die Resultate seiner sorgfältigen Untersuchungen über das Verhalten der Reservestoffe bei der Keimung vieler ölreichen Samen mit, und wir entnehmen den Angaben des genannten Forschers das Folgende:

Bei Ricinus communis ist die ganze Höhlung der ellipsoidischen Samenschale von dem Endosperm erfüllt. In einer centralen Spaltenhöhle desselben liegt der platte Keim.

Das Endosperm besteht aus einem grosszelligen, dünnwandigen Gewebe, umgeben von einer Schicht tafelförmiger Zellen. Die Elemente des Endosperm führen neben Proteinstoffen eirunde Fetttröpfchen; Amylum ist nicht vorhanden. Der Embryo besteht aus der Achse und den beiden dünnen, blattartig ausgebildeten Cotyledonen. In den Parenchymzellen des Keims ist Fett vorhanden.

Wenn die Keimung der Samen bereits beträchtliche Fortschritte gemacht hat, wenn die Cotyledonen sich bedeutend vergrössert haben, und die Hauptwurzel sowie das hypocotyle Glied in lebhafter Streckung begriffen sind, so ist im Endosperm zwar keine Stärke nachzuweisen, aber die Auflösung des Fettes lässt sich leicht constatiren. In bestimmten Zellen des Keims lassen sich Amylum und Glycose nachweisen. Schreitet die Keimung

1) Vgl. Sachs: Botan. Zeitung. 1859. S. 177.

2) Wenn Samen gleichzeitig beträchtliche Amylum- und Fettquantitäten enthalten, so können natürlich beide Körper neben einander als Material zur Zellstoffbildung Verwendung finden.

weiter fort, so verschwindet das Fett mehr und mehr. Ebenso wird der Embryo ärmer an Stärke und Zucker, aber dafür ist viel Cellstoff erzeugt worden.

Sachs hat ferner das Verhalten des Fetts bei der Keimung der Samen von Helianthus annuus, Amygdalus communis, Prunus Cerasus, Cucurbita Pepo etc. studirt. Ebenso untersuchte Sachs[1]) das Verhalten der Reservestoffe bei der Keimung des stärkefreien, aber fettreichen Samen von Allium Cepa, und hier tritt namentlich dies Verhältniss deutlich hervor, dass das Oel seiner Hauptmasse nach direct in Zucker übergehen kann, während dann nur ein kleiner Theil des Fettes transitorisch in Amylum übergeht[2]).

In den Samen von Solanum tuberosum sind Stärke und Zucker nach H. de Vries[3]) nicht vorhanden. Das Endosperm enthält Eiweissstoff und fettes Oel. Bei der Keimung treten die beiden genannten Kohlehydrate niemals im Endosperm auf, dagegen sind sie im Embryo stets nachzuweisen[4])[5]).

Wenn man die vorstehenden Specialangaben über das Verhalten der Reservestoffe bei der Keimung näher betrachtet, so wird man allerdings zu der Ueberzeugung geführt werden müssen, dass die früher bereits geltend gemachte Anschauung, wonach Amylum, Glycose, Fette etc. als physiologisch gleichwerthige Substanzen anzusehen sind, eine wohl begründete ist. Sollen die Pflanzen sich normal entwickeln, so müssen ihnen einerseits stickstoffhaltige, andererseits stickstofffreie organische Körper zur Disposition stehen. Die assimilirenden Organismen erzeugen das Bildungsmaterial selbst aus anorganischer Substanz; dagegen sind

---

1) Vgl. Sachs: Botan. Zeitung. 1863. S. 57.

2) In der Mehrzahl der Fälle werden bei der Keimung ölhaltiger Samen übrigens beträchtliche Amylumquantitäten gebildet. Die Stärke geht in Zucker über, und dieser liefert dann das Material zur Zellstoffbildung. Zuweilen scheint sich, wie noch bemerkt werden mag, bei der Keimung fettreicher Samen nur Stärke und kein Zucker anzuhäufen.

3) Vgl. H. de Vries: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7. S. 19.

4) Die Stärke, welche Boehm (vgl. Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. zu Wien, B. 69, 1874, Märzheft) in den Keimblättern der Kresse, des Rettigs und des Leins beobachtete, ist unzweifelhaft ebenfalls als aus Fett hervorgegangen zu betrachten, denn die Amylumbildung erfolgte sowohl im Dunkeln als auch in kohlensäurefreier Atmosphäre im vollen Tageslichte. Man vgl. auch Boehm, Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. zu Wien, B. 73, 1876, Januarheft.

5) Bei der Keimung der Samen von Cyclamen fungirt nach Gressner (vgl. botan. Zeitung, 1874, S. 801) neben Fett noch Cellulose als Reservestoff.

die Keimpflanzen in den ersten Stadien ihrer Ausbildung dazu nicht im Stande. Sie sind darauf angewiesen, die ihnen von der Mutterpflanze mitgegebenen Reservestoffe zu verwerthen, und während die im Endosperm oder den Cotyledonen aufgespeicherten stickstoffreichen Verbindungen das Material zur Erzeugung der plasmatischen Gebilde liefern, finden Amylum, Fette u. s. w. bei der Zellhautbildung Verwendung.

Es ist eine sich allgemein geltend machende Erscheinung, die auch, wie die bahnbrechenden Untersuchungen von Sachs ergeben haben, bei der Keimung fettreicher Samen in mehr oder minder deutlich ausgeprägter Weise hervortritt, dass die stickstofffreien plastischen Stoffe auf ihrer Wanderung vom Ablagerungs- zum Verbrauchsorte transitorisch in Stärke übergehen. Wenn die Streckung der Zellen vollendet ist, so verschwinden die plastischen Stoffe aus ihnen; nur in solchen Elementen lässt sich ihre Gegenwart noch constatiren, die zur Translocation der genannten Körper dienen und durch deren Vermittelung dieselben den noch sehr jugendlichen Pflanzentheilen zugeführt werden.

Zur Vervollständigung des Gesagten muss noch auf die ausnahmslos bei mikrochemischen Untersuchungen constatirte merkwürdige Thatsache hingewiesen werden, dass, während die in Streckung begriffenen Zellen stets Amylum oder Glycose führen, diese Stoffe in den aller jüngsten, sich im Zustande lebhafter Theilung befindlichen Zellen der Wurzel- und Stammspitze, der jüngsten Blattanlagen sowie des Cambium niemals nachgewiesen werden können [1]). Dass dem Plasma der zuletzt genannten Zellen solche Körper beigemischt sein müssen, die das Material zur Zellhautbildung liefern können, folgt mit zwingender Nothwendigkeit aus dem Umstande, dass eben Zelltheilung stattfindet. Unter solchen Verhältnissen bedarf es einer besonderen Erklärung für die angedeutete Erscheinung.

Man kann sich vorstellen, dass der Verbrauch an plastischem Material in den jüngsten Zellen, die sich lebhaft theilen, ein so bedeutender ist, dass es in ihnen zu keiner Anhäufung von Stärke und Zucker kommt. Diese Stoffe können in den genannten Elementen offenbar in dem Masse verarbeitet werden, als sie denselben zufliessen, und sie müssen sich deshalb der Beobachtung entziehen. In den in Streckung begriffenen Zellen findet allerdings ebenfalls ein Verbrauch an plastischen Substanzen statt, aber in

1) Man vgl. hierüber bei Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie. S. 354.

diesen muss derselbe unbedeutender als die Zuleitung sein, so dass eine Anhäufung von Stärke oder Glycose erfolgt.

Auf die mehrfach erwähnte transitorische Amylumbildung in den Pflanzen muss ich hier noch insofern zurückkommen, als dieser Process auf den ersten Blick um so merkwürdiger erscheint, wenn man bedenkt, dass die Stärke vor ihrem Uebertritt aus einer Zelle in eine andere aufgelöst werden muss. Auflösung des Amylum und transitorische Stärkeerzeugung sind Vorgänge, die sich neben einander in ein und derselben Zelle abwickeln können. Der letztere Process wird aber nur begreiflich, wenn man von der Voraussetzung ausgeht, dass das Ferment, welches, wie im vorigen Capitel erörtert worden ist, die Amylumauflösung bedingt, in den Zellen keine übermässig energische Wirkung äussert. Das den Parenchymzellen zugeführte stickstofffreie Bildungsmaterial wird sehr häufig in denselben aus allerdings unbekannten Gründen in Form von Stärke niedergeschlagen. Ein gewisser Theil des Amylum wird alsbald von dem Fermente wieder aufgelöst, aber dieser Process hält nicht mit der Zuleitung der Substanz, die zur Bildung der Stärke verwendet wird, Schritt, so dass die Gegenwart der letzteren stets leicht constatirt werden kann.

Das stärkeauflösende Ferment scheint übrigens in den verschiedenen Theilen der ruhenden Samen nicht in gleichen Quantitäten vorhanden zu sein. So konnte Krauch[1]) nur aus dem Embryo der Maisfrucht beträchtlichere Mengen einer diastatisch wirkenden Substanz isoliren, während dieselbe dem Endosperm fast gänzlich fehlte. Damit im Zusammenhange steht die von Sachs constatirte Thatsache, dass die Auflösung des Amylum im Endosperm der keimenden Gramineensamen an den Stellen beginnt, welche dem Schildchen am nächsten liegen. Aehnliches ergiebt sich aus den Resultaten gewisser Beobachtungen, welche van Tieghem[2]) sowie Blociszewski[3]) anstellten, und auf die wir im neunten Hauptabschnitte specieller zurückkommen werden. Diese Forscher brachten ihrer Reservestoffe beraubte Embryonen in geeigneter Weise mit verschiedenen organischen Stoffen (Amylum, Zucker etc.) in Contact. Die Embryonen entwickelten sich bei künstlicher Ernährung bedeutend kräftiger als ohne dieselbe. Es liess sich auch direct nachweisen, dass die Amylumkörner, welche

1) Vgl. Krauch, Versuchsstationen. B. 23, S. 96.

2) Vgl. van Tieghem, Annl. d. scienc. nat. Botonique. Ser. V. T. 17. p. 205.

3) Vgl. Blociszewski: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5. S. 145.

den jungen Pflanzen als Nahrungsmittel zur Disposition standen, Corrosionen erfuhren.

Wenn endlich die Verdickungsschichten im Endosperm des Dattelsamen in dem Masse, als das Saugorgan wächst, aufgelöst werden, so muss der Schluss gezogen werden, dass hier ebenfalls die Wirkung eines vom Embryo aus thätigen Fermentes ins Spiel kommt[1]).

Drittes Capitel.

Quantitativ-chemische Untersuchungen über das Verhalten der Kohlehydrate und Fette bei der Keimung.

Mit Hülfe mikrochemischer Beobachtung ist man, wie wir gesehen haben, im Stande, die Wanderung gewisser Stoffe in der Keimpflanze von Zelle zu Zelle zu verfolgen. Es lässt sich zeigen, zu welcher Zeit und an welchem Orte bestimmte Substanzen in keimenden Samen auftreten oder verschwinden, und unsere Kenntniss über die genetischen Beziehungen einzelner Körper des vegetabilischen Organismus zu einander ist durch die Anwendung mikrochemischer Methoden in ganz hervorragender Weise erweitert worden.

Verfolgt man den Keimungsprocess mit der Wage in der Hand, so muss man von vornherein darauf verzichten, gewisse Fragen ihrer Entscheidung näher zu führen. Dagegen können andererseits ebenso manche Probleme durch analytisch chemische Arbeiten gelöst werden, die sich der Behandlung bei ausschliesslicher Benutzung des Mikroskops gänzlich entziehen. Ich hege die Ueberzeugung, dass gerade quantitativ chemische Studien über die Stoffwechselprocesse des vegetabilischen Organismus noch eine grosse Zukunft haben; derartige Untersuchungen sind entschieden dazu geeignet, uns nach den verschiedensten Richtungen hin Aufschluss zu verschaffen, und uns das eigentliche Wesen des Stoffwechsels zu erschliessen.

Leider sind unsere Kenntnisse über die Processe, denen die stickstofffreien organischen Verbindungen bei der Keimung anheim-

---

1) Fermente, die Zellstoff zu lösen vermögen, müssen übrigens im Pflanzenreiche ziemlich weit verbreitet sein. Sie müssen z. B. in Pilzen und anderen Schmarotzern, die in Gewächse eindringen, vorkommen.

fallen, heute noch immer recht beschränkte. Der Grund für diese Thatsache liegt gewiss wesentlich darin, dass die Methoden zur quantitativen Bestimmung der in Rede stehenden Körper im Ganzen und Grossen einen geringen Grad der Ausbildung erfahren haben, und dass zur Bestimmung vieler Substanzen überhaupt gar keine Methoden existiren. Will man z. B. das Verhalten des Amylum bei der Keimung genau kennen lernen, so ist es doch vor allen Dingen erforderlich, eine sichere Methode zur quantitativen Bestimmung dieses Kohlehydrats in der Hand zu haben. Es ist allerdings mit geringen Schwierigkeiten verbunden, den Stärkegehalt eines Gemisches von Amylum und Mineralstoffen festzustellen; dagegen stellen sich der genauen Bestimmung des Stärkegehalts der Samen oder Keimpflanzen, wie wir sehen werden, sehr bedeutende Hindernisse in den Weg. Neben dem Amylum enthalten die Samen etc. ja noch eine Reihe anderweitiger organischer Körper, und eben das Vorhandensein dieser macht die Analysen so sehr mühsam und schwierig. Uebrigens haben manche Forscher, die sich mit der Untersuchung des vegetabilischen Stoffwechsels beschäftigten, die hier angedeuteten Verhältnisse nicht entfernt berücksichtigt und die Beobachtungsmethode häufig in erstaunlich unkritischer Weise gehandhabt.

Nach alledem wird es als gerechtfertigt erscheinen, wenn ich zunächst die Methoden, deren man sich bei der Bestimmung der wichtigsten stickstofffreien Verbindungen der Samen sowie der Keimpflanzen bedienen kann, etwas genauer behandele.

Zunächst kommt es vor allen Dingen darauf an, das geeignete Samenmaterial zur chemischen Untersuchung, sowie zur Gewinnung der Keimpflanzen selbst zu erlangen. Es versteht sich von selbst, dass man lediglich solche Samen verwenden darf, die keine Verletzungen zeigen und durchaus normal ausgebildet sind. Ebenso ist darauf zu achten, dass die einzelnen Samenindividuen möglichst genau dieselbe Grösse und dasselbe absolute Gewicht besitzen, denn kleinere Samen zeigen nicht nur einen anderen procentischen Gehalt an Feuchtigkeit und organischen Stoffen als grössere Samen, sondern die Entwickelung des Embryo der ersteren erfolgt ebenso nicht in dem Grade wie diejenige des Embryo der letzteren [1]). Aber selbst Samen von ein und demselben absoluten Ge-

[1]) Vgl. über die hier in Rede stehenden Verhältnisse meine Abhandlung in Wollny's Forschungen auf d. Gebiet d. Agriculturphysik. B. 2, H. 1.

wicht verhalten sich bei der Keimung häufig verschiedenartig. Es ist deshalb zur Gewinnung eines allen Ansprüchen genügenden Untersuchungsmaterials erforderlich, stets viele Einzelversuche auszuführen, und man hat lediglich dasjenige Keimpflanzenmaterial weiter zu berücksichtigen, welches zu normaler und möglichst gleichartiger Entwickelung gelangt ist.

Was die Vorbereitung der Samen zur chemischen Analyse anbetrifft, so genügt es häufig nicht, dieselben zu pulvern oder zu zermahlen, denn auf diese Weise erhält man sehr oft keine homogene Masse. Nach meinen Erfahrungen ist es vielmehr sehr zweckmässig, das auf die angedeutete Weise hergestellte Pulver noch längere Zeit bei etwa 50 ° C. stehen zu lassen, um dasselbe darauf in einem erwärmten Mörser fein zu zerreiben [1]).

Die Keimpflanzen werden zweckmässig im frischen Zustande zu einem Brei zerrieben, dann auf dem Wasserbade möglichst vom Wasser befreit [2]) und schliesslich in einem Trockenschrank bei nicht zu hoher Temperatur belassen. Die trockene Masse wird nach dem Wiegen und Zermahlen längere Zeit an der Luft stehen gelassen. Hat sie den lufttrockenen Zustand angenommen, so wird der Wassergehalt genau bestimmter Quantitäten des Keimpflanzenpulvers ermittelt [3]).

Mit Bezug auf die Bestimmung des Gehalts der Samen und Keimpflanzen an organischen Bestandtheilen ist zunächst auf die Ermittelung des Fettgehalts derselben hinzuweisen. Die absolut trockenen Substanzen werden am zweckmässigsten in einem Apparat, dessen Construction ich vor einiger Zeit beschrieben habe [4]), mit Aether extrahirt. Diese Extraction muss je nach dem Fettgehalte der Untersuchungsobjecte längere oder kürzere Zeit fortgesetzt werden, aber in allen Fällen wird die gewonnene ätherische Lösung vorsichtig eingedunstet, und der Rückstand bei 100° C. getrocknet und gewogen [5]) [6]).

---

1) Namentlich ist darauf zu achten, dass die Samenschalen eine gehörige Zerkleinerung erfahren.

2) Natürlich ist ebenso das Wasser, welches den Keimpflanzen während ihrer Entwickelung zur Disposition stand, zu verdunsten.

3) Specielleres über die Ausführung der Keimversuche soll weiter unten hervorgehoben werden.

4) Vgl. Detmer, Wollny's Forschungen. B. 2, H. 1. Separatabdruck, S. 30.

5) Dieser Rückstand besteht allerdings hauptsächlich aus Fett; er enthält aber, wie nicht zu vergessen, daneben noch anderweitige Substanzen.

6) Man vgl. übrigens bezüglich der Methode der Fettbestimmung noch M. Siewert, Versuchsstationen. B. 23, S. 317.

Bei der Ausführung der Traubenzucker- sowie Dextrinbestimmungen hat man die Untersuchungsobjecte (Samen- und Keimpflanzenpulver) häufig unbegreiflicher Weise mit Wasser gekocht, die Flüssigkeit abfiltrirt und den Gehalt derselben an solchen Substanzen, welche auf die Fehling'sche Lösung direct oder nach der Behandlung mit Schwefelsäure reducirend einwirkten, festgestellt.

Ein solches Verfahren ist aber durchaus nicht zulässig, denn man kann sich leicht davon überzeugen, dass die Flüssigkeiten nach dem Kochen und Filtriren sowohl in noch heissem Zustande als auch nach dem Erkalten Amylum enthalten.

Zur Gewinnung brauchbarer Resultate ist es vielmehr nothwendig, das Untersuchungsmaterial bei gewöhnlicher Temperatur mit Wasser zu behandeln [1]). Sind die Samen oder Keimungsproducte sehr fettreich, so muss das Fett zunächst extrahirt werden. Die gewonnene wässerige Lösung lässt sich nur sehr schlecht filtriren. Um sie leicht filtrirbar zu machen, ist es nach dem Vorgange von Sachsse nur erforderlich, längere Zeit einen kräftigen Kohlensäurestrom einzuleiten. In einem Theile des Filtrats lässt sich der Traubenzucker jetzt leicht bestimmen; ein anderer Theil der Flüssigkeit dient nach vorheriger Behandlung mit Schwefelsäure zur Feststellung der vorhandenen Dextrinquantität [2]).

Was die Methode der Stärkebestimmung anbelangt, so habe ich mich in sehr eingehender Weise mit derselben befasst und kann das Folgende als Hauptergebniss meiner Bemühungen aussprechen.

Fettreichen Samen muss zunächst das Oel entzogen werden. Ist das Untersuchungsmaterial fettarm, so ist dies nicht erforderlich. Immer erscheint es mir zweckmässig, den Zucker und das Dextrin den Samen oder Keimpflanzen nicht vor der Bestimmung des Amylum zu entziehen, sondern den Zucker-, Dextrin-, sowie Stärkegehalt gemeinsam in einer Probe zu ermitteln, um dann von dem gewonnenen Werthe die für den Zucker- und Dextringehalt der Untersuchungsobjecte erhaltenen Werthe in Abzug zu bringen [3]).

---

1) Zucker und Dextrin kann man den Untersuchungsobjecten auch dadurch entziehen, dass man dieselben mit verdünntem Alkohol auskocht. Die Filtrate enthalten — wovon ich mich überzeugte — kein Amylum.

2) Vgl. über das hier Gesagte und über das Folgende meine verschiedenen Abhandlungen über den Keimungsprocess.

3) Wenn man in der hier angedeuteten Weise verfährt, so erleichtert man sich die Arbeiten ganz ungemein.

Bei der Ausführung der Amylumbestimmungen etc. wende ich 1.5—2.5 Grm. absolut trockener sehr fein gepulverter Substanz an. Dieselbe wird mit 200—250 Cc. Wasser übergossen und mit dieser Flüssigkeit zur Verkleisterung des Amylum $1^1/_2$—2 Stunden lang gekocht. Dann fügt man der Masse wenige Tropfen einer 10procentigen Schwefelsäure hinzu und kocht sie damit unter Ersatz des verdunstenden Wassers weitere 3 Stunden lang.

Die erkaltete Flüssigkeit wird unter Berücksichtigung der vorhandenen Menge an ungelöster Substanz auf 500 Cc. aufgefüllt. 200 Cc. der durch ein trockenes Faltenfilter abfiltrirten und völlig klaren Lösung versetzt man alsdann mit verdünnter Schwefelsäure und kocht sie damit nach dem Eindunsten auf die Hälfte ihres ursprünglichen Volumen unter häufigem Ersatz des verdunstenden Wassers 6—7 Stunden lang. Die Ueberführung des Amylum und Dextrins in Traubenzucker ist nach Ausführung der angegebenen Manipulationen vollkommen erfolgt, und es erübrigt nur noch, den Zuckergehalt der Flüssigkeit in bekannter Weise unter Benutzung von Fehling'scher Lösung festzustellen[1]).

Verfährt man bei der Ausführung der Amylum- und Dextrinbestimmungen genau in der Weise, wie ich es hier kurz angegeben habe, so gelangt man — allerdings nur dann, wenn man mit peinlicher Sorgfalt arbeitet — zu brauchbaren und unter einander übereinstimmenden Resultaten[2]).

Man hat mehrfach versucht, den Stärkegehalt von Pflanzentheilen unter Zuhülfenahme von Malzextract und nachherige Behandlung der vom ungelöst bleibenden Rückstande abfiltrirten Flüssigkeit mit Schwefelsäure zu bestimmen. Holdefleiss[3]) ist es auf diese Weise gelungen, den Amylumgehalt der Kartoffeln sehr genau festzustellen; ebenso erhielt ich bei der Anwendung der in Rede stehenden Methode zur Ermittelung des Stärkereichthums der Maisfrüchte brauchbare Werthe. Dagegen war es mir

---

1) Nach meinen Erfahrungen ist es, um zu genauen Resultaten zu gelangen, erforderlich, das ausgefällte Kupferoxydul auf einen Filter zu sammeln und nach der Ueberführung in Oxyd zu wägen. Die Titrirmethode liefert dagegen nicht so genaue Ergebnisse.

2) Erwähnt muss hier werden, dass Sachsse (vgl. Sitzungsberichte des naturwissenschl. Vereins zu Leipzig, 1877, S. 30) neuerdings die Salzsäure zur Ueberführung der Stärke in Traubenzucker benutzte. Allerdings bleibt noch zu ermitteln, ob diese neue Methode bei der Untersuchung von Samen und Keimpflanzen auf ihren Amylumgehalt angewandt werden kann.

3) Vgl. Holdefleiss, Separatabdruck aus dem Supplementhefte des 6. Jahrgangs d. landwirthschl. Jahrbücher. S. 13.

durchaus nicht möglich, bei der Bestimmung des Amylumgehalts von Erbsensamen unter einander übereinstimmende Ergebnisse zu erhalten, wenn ich die Stärke mit Malzextract auszog. Uebrigens liegt die Ursache, welche zu diesen verschiedenen Resultaten geführt hat, klar auf der Hand, seitdem Baranetzky[1]) gezeigt hat, dass die Stärkecellulose mancher Amylumsorten leicht, diejenige anderer hingegen nur schwierig von der Diastase angegriffen wird. In der That habe ich denn auch constatiren können, dass der sorgsam ausgewaschene Rückstand von der Behandlung des Erbsenpulvers mit Malzextract noch eine Substanz enthielt, die durch sehr verdünnte Schwefelsäure in Zucker übergeführt wurde.

Nach erfolgter Extraction des Amylum aus dem Samenpulver wird der Rückstand zur Bestimmung der Rohfaser in bekannter Weise mit Kalilauge behandelt[2]).

Neben den genannten Körpern, neben dem Fett, dem Zucker, der Stärke etc., enthalten die Samen, sowie Keimpflanzen zwar noch anderweitige stickstofffreie Verbindungen, aber die detaillirte quantitative Bestimmung derselben ist heute noch nicht möglich, und aus diesem Grunde werden sie bei der Zusammenstellung der Resultate der Samenanalysen als „unbestimmte Stoffe" aufgeführt.

Den geeigneten Ausgangspunkt für unsere ferneren Erörterungen gewinnen wir durch die Betrachtung derjenigen Resultate, zu denen Sachsse[3]) bei der Ausführung seiner Untersuchungen über den Keimungsprocess der Samen von Pisum sativum gelangt ist.

Der genannte Forscher brachte die Samen, nachdem dieselben gequollen waren, auf durchlöcherten Silberplatten zum Keimen. Die Wurzeln der jungen Pflanzen tauchten in destillirtes Wasser ein, und die Keimung wurde entweder nach 114 Stunden (erste Periode) oder nach 184 Stunden (zweite Periode) unterbrochen[4]). Die chemische Untersuchung der Samen sowie der Keimpflanzen führte zu den folgenden Ergebnissen:

1) Vgl. Baranetzky: Die stärkeumbildenden Fermente in den Pflanzen. 1878. S. 44.

2) Vgl. specielleres bei E. Wolff, Anleitung zur Untersuchung landwirthschaftlich wichtiger Stoffe. 1867. S. 142.

3) Vgl. Sachsse: Ueber einige chemische Vorgänge bei der Keimung von Pisum sativum. Habilitationsschrift. Leipzig 1872.

4) Die Keimung der Samen erfolgte stets im Finstern.

	Ungekeimte Samen.	Keimpflanzen der I. Periode.	II. Periode.
Fett	2.27	2.32	2.20
Dextrin	6.50	5.21	5.85
Zucker	0.00	0.00	0.00
Stärke	42.44	39.45	36.13
Cellulose	7.13	8.15	8.76
Unbestimmte Stoffe	13.76	15.91	17.01
Proteinstoffe	23.84	24.69	25.62
Asche	4.08	4.28	4.45
	100.00	100.00	100.00

Unter Berücksichtigung der vorstehenden Angaben sowie derjenigen Werthe, welche von Sachsse bezüglich des Trockensubstanzverlustes der keimenden Samen ermittelt worden sind, gestalten sich die Zahlen für den absoluten Verlust und Gewinn des Untersuchungsmaterials an organischen Stoffen wie folgt:

	100 Grm. Erbsentrockensb. enth.	Die nach Periode I rückstd. 96.58 Grm. enth.	Differenz von Colum. 1—2.	Die nach Periode II rückstd. 92.54 Grm. enth.	Differenz von Colum. 2—4.
Fett	2.27	2.24	— 0.03	2.03	— 0.21
Dextrin	6.50	5.03	— 1.47	5.41	+ 0.38
Stärke	42.44	38.10	— 4.34	33.43	— 4.67
Cellulose	7.13	7.87	+ 0.74	8.10	+ 0.23
Unbestimmte Stoffe	13.76	15.36	+ 1.60	15.74	+ 0.38
Proteinstoffe	23.84	23.84	0.00	23.71	— 0.13
Asche	4.08	4.08	0.00	4.08	0.00
	100.00	96.52	3.50	92.50	4.02

Während des ersten Keimungsstadiums haben 100 Grm. Samen 4.34, während des zweiten haben sie 4.67 Grm. Amylum verloren. Es enthalten nun 4.34 Grm. Stärke 1.93 Grm. Kohlenstoff, 4.67 Grm. Stärke aber 2.09 Grm. Kohlenstoff. Nach den bereits im vierten Hauptabschnitte mitgetheilten Angaben haben die Erbsen, mit denen Sachsse experimentirte, während der ersten Keimungsperiode 1.61 Grm., während der zweiten hingegen 1.73 Grm. Kohlenstoff in Folge normaler Athmung verloren. Es verhalten sich nun:

$$1.93 \text{ Grm. } C : 1.61 \text{ Grm.} = C_6 : C_{5 \cdot 05}$$
$$\text{und } 2.09 \text{ „ „ } : 1.73 \text{ „ } = C_6 : C_{4 \cdot 97}$$

Somit erhellt, dass auf 6 Atome Kohlenstoff, die während der ersten beiden Keimungsstadien von Pisum aus ihrer Verbindung

als Stärke in anderweitige Verbindungen übergehen, 5 Atome Kohlenstoff in Verbindung mit Sauerstoff als Kohlensäure ausgeathmet werden.

Auf Grund der gesammten Resultate seiner Untersuchungen hat Sachsse schliesslich die folgende, bereits von uns im vierten Hauptabschnitte zur Kenntniss gebrachte Zersetzungsgleichung aufgestellt, um einen kurzen Ausdruck für die bei der Keimung von Pisum zur Geltung kommenden Decompositionsprocesse zu geben:

$$C_6H_{10}O_5 = C_5 + H_8 + O_4 + CH_2O$$ [1].

Diese Gleichung soll ausdrücken, dass die drei ersten Glieder der rechten Seite, durch den atmosphärischen Sauerstoff vollständig zu Kohlensäure und Wasser verbrannt, aus den keimenden Samen austreten, während das letzte Glied (CH_2O) in den Samen verbleibt und in andere Verbindungen umgewandelt wird.

Das letzte Glied obiger Gleichung besitzt die Zusammensetzung des Methylaldehyds. Ich bin allerdings der Ansicht, dass Methylaldehyd selbst bei der Keimung nicht frei wird. Dieser Körper besitzt bekanntlich einen höchst stechenden Geruch und repräsentirt bei gewöhnlicher Temperatur ein Gas, so dass man seine Entstehung, würde dieselbe bei der Keimung thatsächlich erfolgen, gewiss mit Leichtigkeit constatiren könnte. Dagegen ist bekannt, dass der Methylaldehyd in hohem Grade zur Bildung polymerer Verbindungen neigt [2]) und dass derselbe in naher Beziehung zu Kohlehydraten steht [3]). So können sich z. B. mehrere Gruppen CH_2O, die durch Decompositionsprocesse bei der Keimung entstanden, zu Glycose vereinigen. Ein derartiger Process kann bei der Entwickelung des Embryo von Pisum aber höchstens während der aller ersten Keimungsstadien zur Geltung kommen, denn nach meinen Untersuchungen enthalten lediglich die gequollenen Samen Glycose, während dieser Körper fernerhin völlig verschwindet. Und überdies ist es sehr fraglich, ob jene Glycosemengen wirklich durch Condensation mehrerer Moleküle des Methylaldehyd entstehen, denn es liegt ja die Möglichkeit vor, dass sich zuckerartige Körper direct aus dem vorhandenen Amylum unter Vermittelung von Fermenten bilden. Die Gruppen CH_2O scheinen wäh-

---

1) Die auf der rechten Seite dieser Gleichung vorhandenen Werthe für das Verhalten des Wasserstoffes sind mehr oder weniger hypothetischer Natur.

2) Wird z. B. eine Lösung von Methylaldehyd in Amylalkohol verdunstet, so hinterbleibt eine weisse krystallinische Masse: Paramethylaldehyd: $C_3H_6O_3$.

3) Vgl. Butlerow, Annl. d. Chm. und Pharm. B. 70, S. 295.

rend des ersten Keimungsstadiums der Erbse vielmehr lediglich zur Bildung von Cellulose, während des zweiten Stadiums aber zur Bildung von Zellstoff, Dextrin sowie unbestimmten Stoffen Verwendung zu finden[1]). Nach der aufgestellten Gleichung muss $^1|_5$—$^1|_6$ der Substanz der zersetzten Stärkemenge in den Keimpflanzen zurückbleiben, und in der That werden nahezu entsprechende Quantitäten Cellulose und Dextrin etc. gebildet.

	Verschwunden.	Neugebildet.
Periode I	4.34 Grm. Amylum	0.74 Grm. Cellulose
„ II	4.67 „ „	0.38 „ Dextrin 0.23 „ Cellulose 0.38 „ unbest. Stoffe.

Wir haben hier immer vorausgesetzt, dass das Amylum bei der Keimung als solches zersetzt wird. Dies ist thatsächlich nicht der Fall, vielmehr geht aus früheren Auseinandersetzungen hervor, dass ein stickstofffreies Dissociationsproduct der Lebenseinheiten von der Zusammensetzung des Traubenzuckers das Material zur Bildung von Kohlensäure und Wasser, sowie derjenigen Stoffe, die für die Zwecke des Wachsthums Verwendung finden können, liefert, während das Amylum selbst zunächst nur das Material zur Regeneration der Lebenseinheiten repräsentirt. Somit sind wir berechtigt, die folgende Zersetzungsgleichung aufzustellen, um den hier in Rede stehenden Stoffwechselprocessen einen kurzen Ausdruck zu verleihen:

$$C_6H_{12}O_6 = C_5 + H_{10} + O_5 + CH_2O.$$

Nach dieser Gleichung gestaltet sich das Verhältniss zwischen der Trockensubstanzmenge ($C_5 + H_{10} + O_5$), welche bei der Keimung amylumreicher Samen verschwindet, und der Quantität stickstofffreier Verbindungen ($C_6H_{12}O_6$), welche dem Decompositionsprocesse unterliegt = 1 : 1.20.

Dieser Werth ist für die Beurtheilung der von Sachsse gewonnenen Resultate von grosser Bedeutung; es ist dabei nur erforderlich, die folgenden Gesichtspunkte nicht aus dem Auge zu lassen.

Es mögen 100 Grm. Samen zum Keimen ausgelegt werden[2]). Diese Samenmenge soll 50 Grm. Amylum enthalten, und während einer gewissen Zeit sollen 4.5 Grm. Stärke verschwinden. Nach Sachsse würde das Amylum direct dem Stoffwechsel anheimfallen, und die

1) Bei der Bildung von Dextrin oder Cellulose muss natürlich H_2O abgespalten werden.

2) Ich rede hier von Samentrockensubstanz.

100 Grm. Samen müssen nach seiner Zersetzungsgleichung einen Trockensubstanzverlust von 3.67 Grm. erfahren. Nach meiner Vorstellung geht das Amylum zunächst in Glycose über, die für die Regeneration der Lebenseinheiten Verwendung findet, und denken wir uns, dass diese Glycosebildung zunächst, ohne gleichzeitiges Stattfinden von Decompositionsprocessen in den keimenden Samen zur Geltung käme, so würden die 4.5 Grm. Amylum 5.0 Grm. Traubenzucker liefern [1]). Die 100 Grm. Samen müssten demnach eine Trockensubstanzzunahme von 0.5 Grm. erfahren. Nach der von mir aufgestellten Gleichung verlieren 5.0 Grm. Traubenzucker aber in Folge der Decomposition 4.17 Grm. Trockensubstanz, und man sieht, dass die Trockensubstanzmenge, welche 100 Grm. Samen schliesslich zurücklassen, dieselbe ist, mögen wir annehmen, dass das Amylum direct zersetzt wird, oder mögen wir von der Vorstellung ausgehen, wonach das stickstofffreie Dissociationsproduct der Lebenseinheiten des Plasma das Material zur Kohlensäurebildung etc. liefert, während das Amylum nach seiner Ueberführung in Glycose nur die Regeneration lebendiger Eiweissmoleküle besorgt. Wenn der Process der Glycosebildung und der Decompositionsvorgang, wie es ja thatsächlich bei der Keimung der Fall ist, nicht nach, sondern neben einander zur Geltung kommen, so wird der erstere Vorgang völlig verdeckt, denn die Wassermenge, die das Amylum bei der Zuckerbildung aufnimmt, wird in Folge der Decomposition wieder in Freiheit gesetzt. Somit liefert die bei der Keimung verschwindende Stärkemenge ein directes Mass für die Beurtheilung der thatsächlich mit der Evolution des Embryo Hand in Hand gehenden Decompositionsprocesse, denen das stickstofffreie Dissociationsproduct der Lebenseinheiten des Plasma unterliegt.

Unter Berücksichtigung der von Sachsse gewonnenen Beobachtungsresultate ergeben sich die folgenden Werthe für das Verhältniss, in welchem die verschwundenen Trockensubstanzmengen zu den verschwundenen Amylummengen bei der Keimung der Erbse stehen.

Für Periode I. = 1 : 1.27
" " II. = 1 : 1.16 Mittel = 1 : 1.22

Ich habe mich ebenfalls eingehender mit dem Studium des Keimungsprocesses der Erbse beschäftigt [2]). Meine Untersuchungs-

---

1) Die Glycosebildung aus Amylum ist natürlich mit Wasseraufnahme verbunden.

2) Vgl. Detmer, Wollny's Forschungen. B. 2, H. 3.

objecte entwickelten sich im Dunkeln bei verschiedenen, aber für die einzelnen Versuchsreihen möglichst constanten Temperaturen. Die Samen wurden zunächst mit Wasser übergossen, und als der Quellungsprocess vollendet war, gelangte das Untersuchungsmaterial auf flachen Schalen mit möglichst wenig Wasser in Contact. Ueber die Bedingungen, unter denen die Keimung von Pisum erfolgte, sowie über die Trockensubstanzmengen, welche je 100 Grm. Samentrockensubstanz nach vollendeter Keimung zurückliessen, giebt die folgende Tabelle nähere Auskunft:

	Mittlere Temperatur in ° C.	Zeitdauer der Keimung in Std.	100 Grm. Samentrcksbst. lieferten Keimpflanzentrockensubst. Grm.
A.	15	94	95.64
B.	19	94	93.85
C.	23	94	91.67
D.	19	138	91.52

Aus den Untersuchungen von Sachsse geht bereits hervor, dass bei der Keimung der Samen nicht nur Decompositionsprocesse zur Geltung kommen, sondern dass gewisse organische Stoffe der Samen durch Vorgänge der Stoffmetamorphose, ohne tiefgreifenden Zersetzungen zu unterliegen, in andere Verbindungen übergehen. Während des ersten Keimungsstadiums ist Dextrin verschwunden, dafür hat sich aber eine entsprechende Quantität unbestimmter Stoffe gebildet, und eine ganz ähnliche Erscheinung habe ich bei meinen Untersuchungen über den Keimungsprocess von Pisum constatiren können. Es ist, wie ich mit Nachdruck betonen will, stets von Wichtigkeit, bei der Deutung der Ergebnisse, zu denen die Untersuchung der Samen sowie der Keimpflanzen geführt hat, niemals aus dem Auge zu verlieren, dass neben den Decompositionsprocessen derartige Vorgänge der Stoffmetamorphose, wie wir sie hier im Sinne haben, stattfinden können, und unter Berücksichtigung des Gesagten berechnet sich aus den Ergebnissen meiner Beobachtungen für das Verhältniss, in welchem die bei der Keimung der Erbse verschwindende Trockensubstanzmenge zu der zersetzten Stärkequantität steht, der Mittelwerth 1 : 1.19.

Bei der Keimung der Samen von Zea Mays machen sich nach meinen Untersuchungen [1]), worauf hier zunächst hingewiesen werden soll, ganz unzweifelhaft wie bei der Keimung von Pisum Processe

1) Vgl. Detmer, Physiologische Untersuchungen über die Keimung etc. 1875. S. 85.

der Stoffmetamorphose geltend [1]). Die ruhenden Samen sind frei von Glycose oder enthalten nur Spuren dieses Körpers. Mit der Entwickelung des Embryo geht eine erhebliche Zuckerbildung Hand in Hand, und dafür verschwindet eine gewisse Dextrin- sowie Stärkequantität. Innerhalb einer gewissen Zeit haben sich in den im Finstern zur Entwickelung gelangenden Maiskeimlingen 5.46 Grm. Glycose gebildet. Verschwunden sind in derselben Zeit 0.99 Grm. Dextrin. Folglich müssen noch 4.47 Grm. Amylum zur Zuckerbildung Verwendung gefunden haben [2]). Es sind im Ganzen 16.28 Grm. Stärke verschwunden, und somit ergiebt sich, dass 16.28 — 4.47 Grm. = 11.81 Grm. Amylum tiefgreifende Zersetzungen erfahren haben müssen. 100 Grm. Samen verloren 9.01 Grm. Trockensubstanz. Der Werth für das Verhältniss zwischen verschwundener Trockensubstanzmenge und zersetzter Stärkequantität gestaltete sich demnach = 1 : 1.31. Während eines ferneren Keimungsstadiums des Mais ist Zucker verschwunden, dafür aber eine entsprechende Dextrinmenge gebildet worden. Die Keimpflanzen verloren 40.58 Grm. Amylum. Etwa 5 Grm. Stärke müssen direct in unbestimmte Stoffe übergegangen sein, und somit sind 35.58 Grm. Amylum zersetzt worden. Da die Keimpflanzen während der hier in Rede stehenden Periode 30.80 Grm. Trockensubstanz einbüssten, so wird das mehrfach erwähnte Verhältniss durch den Werth 1 : 1.16 zum Ausdruck gebracht.

Boussingault [3]) hat Maissamen 20 Tage lang im Dunkeln keimen lassen. Die Untersuchung der Samen sowie der Keimpflanzen führte zu den folgenden für uns wichtigen Resultaten:

		Stärke und Dextrin Grm.	Zucker Grm.	Cellulose Grm.
Körner (trocken)	8.636 Grm.	6.386	—	0.516
Pflanzen „	4.529 „	0.777	0.953	1.316
	— 4.107 Grm.	— 5.609	+ 0.953	+ 0.800 Gr.

1) Von besonderem Interesse ist noch die Thatsache, dass nach meinen Untersuchungen die Stoffwechselprocesse bei der Keimung von Pisum sativum in ganz derselben Weise verlaufen, mag der Embryo bei 19 ° C. einen bestimmten Evolutionszustand in längerer Zeit, oder mag er denselben Grad der Entwickelung bei 23 ° C. in kürzerer Zeit erreichen. Dagegen ist mit Gewissheit zu behaupten, dass die Stoffwechselprocesse bei Wärmegraden, die höher als das Temperaturoptimum für den Wachsthumsprocess liegen, nicht mehr völlig identisch mit denjenigen sind, welche sich bei niederen Temperaturen geltend machen.

2) Diese Rechnung ist nicht vollkommen richtig, da das Amylum beim Uebergange in Glycose Wasser aufnehmen muss. Der Fehler, den wir hier begehen, ist aber von keiner erheblichen Bedeutung.

3) Vgl. Boussingault, Compt. rend. T. 58, p. 917.

Der Zucker ist entschieden aus einem Theil der verschwundenen Stärke oder des Dextrins entstanden. Subtrahirt man 0.953 von 5.609 Grm., so bleiben 4.656 Grm. Zwischen der verschwundenen Trockensubstanzmenge und derjenigen Stärke- sowie Dextrinquantität, welche bei der Keimung eine tiefgreifende Zersetzung erfahren hat, besteht demnach ein Verhältniss von 1 : 1.13. Aus den Resultaten eines zweiten von Boussingault durchgeführten Versuchs berechnet sich der entsprechende Werth zu 1 : 1.23. Nach der oben aufgestellten Gleichung wird $^1|_5$—$^1|_6$ von der Substanz des zersetzten Amylum zur Bildung solcher Körper verwandt, die in den Keimpflanzen verbleiben, und für die Zwecke des Wachsthums Verwendung finden können. In der That geht aus den Untersuchungen Boussingault's hervor, dass auf 4.656 Grm. verschwundenen Amylums 0.800 Grm. Cellulose gebildet worden sind.

Die im Vorstehenden zur Kenntniss gebrachten Untersuchungsergebnisse weisen mit aller Bestimmtheit darauf hin, dass die Vorgänge, die bei der Keimung der sämmtlichen amylumreichen Samen zur Geltung kommen, im Allgemeinen stets dieselben sind. Die Lebenseinheiten des Plasma unterliegen einer Dissociation. Das stickstofffreie Zersetzungsproduct, welches die procentische Zusammensetzung des Traubenzuckers besitzt, fällt unter Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs einem Decompositionsprocesse anheim, und dieser Vorgang ist durch die folgende Gleichung zum Ausdruck zu bringen:

$$C_6H_{12}O_6 + 10\,O = 5\,CO_2 + 5\,H_2O + CH_2O.$$

Die Regeneration der Lebenseinheiten erfolgt auf Kosten des in den Reservestoffbehältern vorhandenen stickstofffreien Materials. Das Amylum geht unter Mitwirkung eines Ferments in Glycose über, und diejenigen Zuckermengen, welche sich nicht direct mit den stickstoffhaltigen Dissociationsproducten der Lebenseinheiten zur Bildung neuer lebendiger Eiweissmoleküle vereinigen, häufen sich temporär in den jungen Keimpflanzen an.

Bei etwas aufmerksamerer Betrachtung der im Vorstehenden zur Kenntniss gebrachten Beobachtungsresultate ergiebt sich unmittelbar, dass die Ergebnisse der quantitativ-chemischen Arbeiten über den Keimungsprocess im Wesentlichen zu ähnlichen Schlussfolgerungen über die Stoffwechselprocesse bei der Keimung wie die Resultate mikrochemischer Forschungen führen. In erhöhtem Masse ist dies der Fall, wenn man ferner die Ergebnisse solcher Arbeiten ins Auge fasst, bei deren Ausführung speciellere Rück-

sicht auf die Zusammensetzung der einzelnen Glieder des zur Entwickelung gelangten Embryo genommen worden. Derartige Untersuchungen sind von Karsten[1]) unter Benutzung der Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus und von mir[2]) unter Benutzung der Keimpflanzen von Zea Mays ausgeführt. Es ist nicht erforderlich, die Resultate der erwähnten Arbeiten an dieser Stelle specieller zu beleuchten; nur auf ein Verhältniss, das ebenfalls von Karsten und mir festgestellt worden, möchte ich hier noch zurückkommen.

Wenn man Keimpflanzen derartig cultivirt, dass sie sich allerdings unter dem Einflusse des Lichtes entwickeln, aber keine Gelegenheit finden, mit Hülfe ihrer Wurzeln Mineralstoffe von aussen aufzunehmen, so schreitet die Ausbildung der jungen Pflanzen selbstverständlich nur langsam fort. Der absolute Trockensubstanzgehalt der auf die angegebene Weise cultivirten Untersuchungsobjecte ist aber, wie nachgewiesen worden, ein höherer als derjenige solcher Keimlinge, die sich im Finstern, sonst aber unter gleichen Bedingungen wie die ersteren, ausgebildet haben, obgleich der Trockensubstanzgehalt der ursprünglich ausgelegten Samen nicht immer erreicht wird. Somit ist klar, dass die unter dem Einfluss des Lichtes erwachsenen Keimpflanzen auf alle Fälle, wenn auch schwach, assimilirt haben müssen, und es ist für uns von besonderem Interesse, dass nach den Ergebnissen der vorliegenden experimentellen Ermittelungen dann, wenn diese assimilatorische Thätigkeit zur Geltung kommt, den Reservestoffbehältern weniger plastisches Material von den Keimpflanzen entzogen wird, als dann, wenn dieselben sich im Finstern ausbilden.

Nach meinen Untersuchungen haben 100 Grm. Maisfrüchte (Trockensubstanz), nachdem sie sich 4 Wochen lang im Finstern entwickelt hatten, 33.63 Grm. Samenrückstände (Trockensubstanz) mit 13.83 Grm. Amylum hinterlassen. 100 Grm. Maisfrüchte, die hingegen den Keimungsbedingungen 4 Wochen lang bei Lichtzutritt ausgesetzt wurden, hinterliessen 42.66 Grm. Samenrückstände mit 16.27 Grm. Stärke. Wenn sich demnach Keimpflanzen bei Lichtzutritt ausbilden, so werden zunächst die Assimilationsproducte für die Zwecke des Stoffwechsels verwerthet, und die Reservestoffbehälter werden in geringerem Masse als bei der Entwickelung der jungen Pflanzen im Finstern erschöpft.

---

1) Vgl. Karsten, Versuchsstationen. B. 13, S. 186.

2) Vgl. Detmer: Physiolog.-chem. Untersuchungen etc. 1875. S. 86.

Wir wenden uns nunmehr zur Betrachtung des Verhaltens des Fettes bei der Keimung, und selbstverständlich eignen sich ins Besondere solche Samen, welche in ihren Reservestoffbehältern kein Amylum, sondern Fett als stickstofffreies plastisches Material führen, für das eingehendere Studium derjenigen Processe, denen das fette Oel mit fortschreitender Entwickelung des Embryo anheimfällt.

Nachdem schon Saussure[1]) sowie Letellier[2]) darauf hingewiesen hatten, dass das Fett bei der Keimung mehr und mehr verschwindet, sind die ersten eingehenden Untersuchungen über das in Rede stehende Verhältniss von Hellriegel[3]) durchgeführt worden. Der zuletzt genannte Forscher hat den Keimungsprocess der Rapssamen genau verfolgt, und wenngleich gegen die in Anwendung gebrachte Untersuchungsmethode verschiedene Bedenken zu erheben sind, so bieten die von Hellriegel gewonnenen Beobachtungsresultate doch in vieler Hinsicht Interesse dar. In der folgenden Tabelle ist zunächst unter I angegeben, wie viel Trockensubstanz je 100 Grm. Samen nach Vollendung der einzelnen Keimungsstadien hinterliessen; die Zahlen unter II beziehen sich aber auf den absoluten Gehalt der Untersuchungsobjecte an Fettsubstanz.

	I.	II.
Samen	100.00 Grm.	47.09 Grm.
Keimpflanzen der 1. Periode	101.15 „	47.76 „
„ „ 2. „	97.63 „	43.77 „
„ „ 3. „	97.46 „	41.00 „
„ „ 4. „	97.16 „	38.66 „
„ „ 5. „	96.82 „	36.22 „

Vor allen Dingen fällt bei der Betrachtung der vorstehenden Zahlen auf, dass die Keimpflanzen während des ersten Entwickelungsstadiums des Embryo eine Zunahme an Trockensubstanz und Fett erfahren haben. Diese Erscheinung wird aber verständlich, wenn man bedenkt, dass fettreiche Samen bei der Keimung, wie früher ausführlicher von uns dargelegt worden, sehr bedeutende Sauerstoffmengen absorbiren, und wenn man in Erwägung zieht, dass Pflanzenfette ausserhalb des Organismus erhebliche Sauerstoffquantitäten absorbiren, wenn sie sich mit der Luft in Berührung befinden. Das Fett scheint bei der Keimung zunächst, ohne tiefgreifende Zersetzungen zu erfahren, einem Oxydationsprocesse

1) Vgl. Saussure, Froriep's Notizen. B. 24, Nr. 16.
2) Vgl. Letellier, Journal f. praktische Chem. Jahrgang 1855. B. 1, S. 94.
3) Vgl. Hellriegel: Ebendaselbst. S. 102.

anheimzufallen. Weiterhin schreitet die Oxydation allerdings fort, aber nun erfährt die Substanz des Fettes zum Theil tiefgreifende und mit Kohlensäureentwickelung verbundene Zersetzungen. Mit fortschreitender Ausbildung des Embryo wird die Keimpflanze ärmer an Fett, und zwar wird das verschwindende Fett nach Hellriegel namentlich zur Bildung von Zucker verwandt [1]).

Zu ganz ähnlichen Resultaten wie Hellriegel gelangte auch Fleury [2]) bei seinen Untersuchungen über den Keimungsprocess der Ricinus und Rapssamen sowie der Samen der süssen Mandeln und derjenigen von Euphorbia lathyris. Der Fettgehalt der Keimlinge wird mit fortschreitender Evolution des Embryo geringer, und dafür werden unter lebhafter Kohlensäureentwickelung Zucker, Dextrin sowie Gummi producirt. Diese Körper finden schliesslich zur Bildung des Zellstoffes der Membranen der neu entstehenden Zellen Verwendung.

Vor 20 Jahren hat Sachs, wie wir bereits im zweiten Capitel dieses Hauptabschnittes erwähnten, den wichtigen Nachweis geliefert, dass bei der Keimung sehr vieler fettreicher Samen ganz bedeutende Amylumquantitäten aus dem Fett entstehen, und dass dieses Amylum schliesslich das Material zur Zellstoffbildung liefert. Durch die neueren quantitativ-chemischen Arbeiten über den Keimungsprocess haben diese Angaben von Sachs ihre Bestätigung gefunden, und vor allen Dingen muss in dieser Beziehung auf die werthvollen Untersuchungen von Peters [3]) hingewiesen werden.

Derselbe studirte den Keimungsprocess der Kürbissamen [4]) und fand, dass mit fortschreitender Entwickelung des Embryo der Gesammtfettgehalt der Untersuchungsobjecte sinkt. Dafür erfolgt eine Anhäufung von Zucker, Amylum sowie unbestimmten Stoffen und eine Bildung von Cellulose in den Keimlingen.

Eine genauere Betrachtung der von Peters ermittelten Werthe

---

1) Von einem Gehalt der Rapskeimlinge an Amylum redet Hellriegel nicht. Tietschert (vgl. Keimungsversuche mit Roggen und Raps, Halle, 1872, S. 78) hat dagegen auf mikrochemischem Wege Stärke in den Rapskeimpflanzen nachweisen können.

2) Vgl. Fleury, Annl. de Chm. et de Phys. 4. Ser. T. 4, p. 38.

3) Vgl. Peters, Versuchsstationen. 1861. B. 3, S. 1.

4) Peters untersuchte einerseits die Keime ruhender Kürbissamen, andererseits hat er die Keimpflanzen in verschiedenen Stadien der Entwickelung analysirt. Die Keimpflanzen wurden in ihre einzelnen Organe (Cotyledonen, hypocotyles Glied, Wurzeln) zerlegt, um dieselben von einander getrennt untersuchen zu können.

für die Zusammensetzung der Kürbiskeimlinge lehrt, dass der Gesammtfettgehalt derselben fortschreitend geringer wird. Ebenso verändert sich der absolute Fettgehalt der Cotyledonen bis zum Ende des dritten und letzten Keimungsstadiums (die Cotyledonen sind gross geworden und sind ergrünt) fortwährend. Das Oel liefert das Material, aus dem schliesslich der Zellstoff der sich neu entwickelnden Zellen gebildet wird, und in der That nimmt der absolute Cellulosegehalt der Cotyledonen, der Wurzeln sowie des hypocotylen Gliedes immer mehr und mehr zu. Der absolute Zucker- und Gummigehalt der einzelnen Keimpflanzenorgane wird continuirlich grösser[1]), offenbar deshalb, weil die Bildung des Zuckers und des Gummis in den Zellen stets lebbafter als der Verbrauch dieser Körper erfolgt. Ein ganz ähnliches Verhalten lassen die unbestimmten Stoffe erkennen. Amylum enthalten die ruhenden Keime nicht. Während des ersten und zweiten Keimungsstadiums werden erhebliche Amylummengen auf Kosten des sich zersetzenden Fetts gebildet. Diese Stärkebildung dauert unzweifelhaft ebenfalls während der dritten Keimungsperiode fort, und wenn der absolute Amylumgehalt der Cotyledonen, der Wurzeln sowie des hypocotylen Gliedes dennoch nach Vollendung des dritten Keimungsstadiums geringer als derjenige ist, den die Organe der jungen Pflanzen nach Abschluss der zweiten Keimungsperiode erkennen lassen, so ist die Ursache dieser Erscheinung nur dem Umstande zuzuschreiben, dass der Amylumverbrauch mit fortschreitender Entwickelung des Embryo lebhafter als die Stärkebildung wird. In der That ist die Zellstoffbildung in den jungen Kürbispflanzen ganz allgemein während der ersten Keimungsstadien eine nur relativ unerhebliche; sie wird erst später bedeutender[2]).

Vor mehreren Jahren habe ich eingehendere Untersuchungen über den Keimungsprocess fettreicher Samen ausgeführt[3]), und mich bei dieser Gelegenheit von der Richtigkeit der Angabe anderer Beobachter überzeugen können, wonach auf Kosten des verschwindenden fetten Oels Amylum sowie Cellulose in den Keimpflanzen entstehen. Interessant ist, dass, wie ich feststellen konnte, bei beginnender Keimung der Raps- und Mohnsamen der absolute Fettgehalt der Keimlinge zunimmt, während derselbe natürlich

---

1) Nur in den Wurzeln macht sich während des dritten Keimungsstadiums eine Abnahme der absoluten Zuckermenge bemerklich.

2) Ueber die Keimung der Kürbissamen liegen auch Untersuchungen von Laskovsky (vgl. Versuchsstationen, B. 17, S. 239) vor.

3) Vgl. Detmer: Physiolog.-chem. Untersuchungen etc. 1875. S. 39.

weiterhin eine bedeutende Verminderung erleidet. 100 Grm. Rapssamen[1]) enthielten 42.45 % Fett. Hatten die Samen 4 Tage lang bei niederer Temperatur gekeimt, so hinterblieben (auf 100 Grm. Samen bezogen) 95.23 Grm. Keimpflanzen mit 42.91 Grm. Fett. 100 Grm. Rapssamen hinterliessen hingegen nach 4tägiger Keimung bei höherer Temperatur 92.76 Grm. Keimpflanzen mit 38.22 Grm. Fett.

Auf eine Zunahme des Fettgehalts der Rapskeimlinge bei beginnender Entwickelung derselben hat bereits Hellriegel hingewiesen, und ich habe angeführt, dass die Ursache jener Erscheinung auf das Stattfinden einer Sauerstoffabsorption seitens des Fettes ohne Kohlensäurebildung zurückgeführt werden muss.

Ueber die Stoffwechselprocesse, welche bei der Keimung des Hanfes stattfinden, habe ich besonders eingehende Untersuchungen ausgeführt, und ich will die Resultate derselben hier ausführlicher mittheilen[2]).

	1. 100 Grm. ruhender Früchte enthalten.	2. Die nach Periode I bleibenden 96.91 Grm. enthalten.	3. Differenz von 1—2.	4. Die nach Periode II bleibenden 94.03 Grm. enthalten.	5. Differenz von 2—4.
Fett	32.65	17.09	— 15.56	15.20	— 1.89
Zucker	—	—	—	—	—
Dextrin	—	—	—	—	—
Stärke	—	8.64	+ 8.64	4.59	— 4.05
Proteinstoffe	25.06	23.99	— 1.07	24.50	+ 0.51
Unbest. Stoffe	21.28	26.13	+ 4.85	26.95	+ 0.82
Cellulose	16.51	10.54	+ 0.03	18.29	+ 1.75
Asche	4.50	4.50	—	4.50	—
	100.00	96.89		94.03	

Vor allen Dingen lassen die vorstehenden Angaben deutlich erkennen, dass das Fett während der Keimung ölhaltiger Samen verbraucht wird. Zucker sowie Dextrin entstehen bei der Keimung des Hanfes nicht; dagegen werden Amylum und unbestimmte Stoffe gebildet. Es ist nun von Interesse, dass bei der Keimung des Hanfes, gerade so wie bei derjenigen der Kürbissamen, wäh-

1) Ich rede hier und im Folgenden von Samen- und Keimpflanzentrockensubstanz.

2) Die Keimung erfolgte im Dunkeln. Die erste Keimungsperiode war nach 7, die zweite nach 10 Tagen beendet.

rend der ersten Entwickelungsstadien des Embryo sehr viel Amylum producirt, aber wenig zur Zellstoffbildung verbraucht wird. Fernerhin schreitet die Stärkebildung in dem Masse, als das Fett verschwindet, fort, aber der Stärkeverbrauch ist jetzt ein sehr lebhafter, und die Keimungsproducte sind daher am Ende des zweiten Keimungsstadiums absolut ärmer an Amylum als nach Abschluss des ersten. Der Charakter der Stoffwechselprocesse, die sich bei der Keimung fettreicher Samen geltend machen, nähert sich mit fortschreitender Evolution des Embryo mehr und mehr demjenigen jener Vorgänge, welche bei der Keimung amylumreicher Samen hervortreten. Die Substanz des in Folge der Keimung gebildeten Amylum wird in allen Fällen zur Regeneration der Proteinstoffe verwendet, und die sich zersetzenden Lebenseinheiten des Plasma liefern das Material zur Zellstoffbildung und Athmung. Bei der Keimung fettreicher Samen gehen aber diesen Stoffwechselprocessen andere Vorgänge in bedeutendem Umfange voraus, und dieselben bewirken unter Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe eine Umwandlung des Fettes in Amylum etc.

Gehen wir auf die hier zuletzt erwähnten Processe etwas genauer ein, so ist zunächst zu bemerken, dass die Glyceride der fettreichen Samen nach den Untersuchungen von Müntz[1]) mit fortschreitender Keimung mehr und mehr in Glycerin und freie Säuren zersetzt werden. Dieser Dissociationsvorgang erfolgt in den Pflanzenzellen, wie es ebenso im thierischen Organismus der Fall ist, unzweifelhaft unter Mitwirkung von Fermenten[2]). Müntz stützt die Ansichten, zu denen er bei dem Studium des Keimungsprocesses fettreicher Samen gelangt ist, namentlich auf folgende Thatsachen: 1. In den Keimpflanzen ist niemals freies Glycerin nachzuweisen; 2. Während das Fett der Samen eine neutrale Reaction besitzt, reagirt das aus Keimpflanzen gewonnene stets stark sauer; 3. Das Fett aus Keimpflanzen ist stets viel reicher an freien Fettsäuren als dasjenige der Samen.

Das in Folge der Dissociation der Fette in Freiheit gesetzte Glycerin scheint bei der Keimung in unbestimmte Stoffe überzugehen. Die freien Säuren dagegen liefern das Material zur Bildung von Kohlehydraten, und das Gesammtresultat des Processes, der z. B. bei der Entstehung von Amylum aus Oelsäure zur Gel-

1) Vgl. Müntz, Annl. de chm. et de physique. Ser. 4. T. 12, p. 472.
2) Vgl. Hoppe-Seyler: Physiolog. Chemie. S. 263.

tung kommt, lässt sich durch die folgende Formelgleichung zum Ausdruck bringen:

$$C_{18}H_{34}O_2 + 27\,O = 2(C_6H_{10}O_5) + 6\,CO_2 + 7\,H_2O$$ [1].

Viertes Capitel.

Einige weitere Bemerkungen über das Verhalten stickstofffreier Verbindungen bei der Keimung.

Die in den beiden letzten Capiteln dieses Hauptabschnitts zur Kenntniss gebrachten Thatsachen lassen keinen Zweifel darüber bestehen, dass Amylum sowie Fette als plastisches Material bei der Keimung vieler Samen Verwendung finden. Nun existiren aber manche Samen, die gar keine Stärke und nur so unbedeutende Mengen fettartiger Körper enthalten, dass diese letzteren weitaus nicht genügen, um das Material für den Athmungsprocess und die Zellstoffbildung etc. zu liefern. Derartiges ist z. B. bei der Lupine der Fall, und es fragt sich, welche Substanzen unter solchen Umständen für die Zwecke des Wachsthums in Anspruch genommen werden.

Es ist bekannt, dass Schulze[2]) den Keimungsprocess der gelben Lupine in Verbindung mit Urich und Umlauft neuerdings sehr eingehend studirt hat. 100 Grm. Samen (Trockensubstanz) hinterliessen nach Vollendung des ersten Keimungsstadiums 87.4 Grm., nach Vollendung des zweiten aber 81.7 Grm. Trockensubstanz[3]). Die ruhenden Samen enthielten 3.24 Grm. Rohfaser. Der absolute Rohfasergehalt der Keimpflanzen betrug 4.13, respct. 6.47 Grm.

Es unterliegt gar keinem Zweifel, dass die stickstofffreien Dissociationsproducte bei der Keimung der Lupinen, wie dies überhaupt in allen Pflanzenzellen der Fall ist, einer Decomposition unterliegen und einerseits Kohlensäure sowie Wasser, andererseits das Material zur Zellstoffbildung liefern. Die Lupinensamen sind

---

1) Wir sind gewiss zu der Annahme berechtigt, dass die fetten Säuren erst unter Mitwirkung der sich zersetzenden Lebenseinheiten des Plasma eine schnelle Oxydation durch den Sauerstoff der Luft erfahren. Die lebendige Kraft, welche in Folge jener Zersetzung frei wird, kann zum Theil dazu verwandt werden, die Atome der fetten Säuren in lebhafte Bewegung zu versetzen, und damit wird das Zustandekommen einer lebhaften Oxydation ermöglicht.

2) Vgl. Schulze: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5 S. 848.

3) Man vgl. unsere Angaben über die Untersuchungen Schulze's im dritten Hauptabschnitt.

bekanntermassen überaus reich an Eiweissstoffen, dagegen arm an stickstofffreien Verbindungen, und dieses Verhältniss bedingt offenbar die massenhafte Anhäufung von Eiweisszersetzungsproducten (Säureamiden sowie Amidosäuren) in den Lupinenkeimlingen. Die Zellstoffbildung erfolgt, wie gesagt, auf Kosten der stickstofffreien Eiweisszersetzungsproducte, und sie kann, wenn die Keimpflanzen sich bei Abschluss des Lichts entwickeln, nur so lange fortschreiten, als Proteinstoffe in den Zellen vorhanden sind. Aus diesem Grunde ist es von besonderem Interesse, dass nicht die Gesammtmenge der in Folge der Dissociation der Lebenseinheiten entstehenden Säureamide sowie Amidosäuren unverändert in den Keimpflanzen bestehen bleibt. Ein bestimmtes Quantum der stickstoffhaltigen Eiweisszersetzungsproducte wird unzweifelhaft zur Proteinstoffregeneration verwendet, und für diesen Zweck werden gewisse stickstofffreie Körper der Samen in Anspruch genommen. In der That haben die Untersuchungen Schulze's ergeben, dass während des ersten Keimungsstadiums nicht unerhebliche Mengen dextrinartiger Körper (10.02 Grm.) aus den Lupinenpflanzen verschwinden. Dafür wird eine geringe Menge Glycose (4.51 Grm.), welcher Körper den ruhenden Samen völlig fehlt, gebildet, aber etwa die Hälfte dieser Glycosemenge verschwindet wieder bis zum Abschluss des zweiten Keimungsstadiums.

Die Lupinensamen — und ebenso viele andere Samen — enthalten nicht unerhebliche Mengen organischer Säuren. Schulze fand 1.92 % dieser Stoffe in den Samen der gelben Lupinen. Genauere Prüfungen haben Aufschluss über die Natur der in den Lupinensamen vorkommenden organischen Säuren gegeben.

Beyer[1]) hat nachgewiesen, dass die Lupinensamen erhebliche Citronensäuremengen enthalten, eine Angabe, die von Ritthausen[2]) und E. Schulze[3]) völlig bestätigt worden ist. Die Citronensäure scheint in manchen Lupinensamen im freien Zustande vorzukommen. Beyer hat nämlich Samen der gelben Lupine mit Alkohol extrahirt, den Extract eingedunstet und den Rückstand mit Wasser behandelt. In der auf diesem Wege gewonnenen Flüssigkeit waren erhebliche Citronensäurequantitäten nachzuweisen. Ich komme auf die hier berührten Verhältnisse im dritten Capitel des sechsten Hauptabschnitts zurück.

1) Vgl. Beyer, Versuchsstationen. B. 14. S. 162.
2) Vgl. Ritthausen: Die Eiweisskörper etc. S. 195.
3) Vgl. E. Schulze: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5. S. 840.

Neben Citronensäure enthalten die Samen der gelben Lupinen nach Ritthausen noch geringe Oxal- und Aepfelsäuremengen [1][2]).

Ueber das Verhalten der organischen Säuren bei der Keimung der Lupinen ist wenig bekannt. Schulze fand bei der Ausführung seiner erwähnten Untersuchungen, dass der absolute Gehalt der Lupinenkeimlinge an organischen Säuren bis zum Abschluss des zweiten Keimungsstadiums von 1.92 bis auf 0.57 Grm. sank. Welche Processe aber das Verschwinden der Säuren bedingen, ist nicht ermittelt [3]).

Beachtung verdient die Thatsache, dass bei der Keimung vieler Samen Gerbstoffe entstehen [4]). Die Natur der speciell bei der Keimung auftretenden Gerbstoffe ist zwar nicht weiter bekannt, aber dieselben zeigen doch in Berührung mit Eisenoxydsalzen die charakteristischen Reactionen der Repräsentanten der in Rede stehenden Gruppe von Pflanzenstoffen, und sie sind deshalb auf mikrochemischem Wege leicht als solche in den Pflanzenzellen nachzuweisen.

Viele Samen (Samen von Gramineen, Allium Cepa, Phaseolus, Pisum, Helianthus, Prunus, Amygdalus, Pinus, Phoenix etc.) enthalten im ruhenden Zustande gar keine Gerbstoffe. Bei der Keimung der Samen von Gramineen und von Allium werden Gerbstoffe in nachweisbarer Menge nicht gebildet, dagegen treten die in Rede stehenden Körper mit beginnender Entwickelung des Embryo der übrigen hier angeführten Samen in grösseren oder geringeren Mengen und zwar häufig nur in vereinzelten Zellenzügen auf. In einigen Fällen, z. B. bei der Eichel und Kastanie, enthalten bereits die ruhenden Embryonen grosse Gerbstoffmengen, die sich übrigens bei der Keimung noch zu vermehren scheinen.

Die Gerbstoffe sind im Allgemeinen als Nebenproducte des Stoffwechsels aufzufassen. Die bei der Keimung der Samen entstehenden Gerbstoffe bleiben wenigstens in denjenigen Zellen, in welchen sie gebildet worden, ruhig liegen und werden nicht, wie

---

1) Schulze hat in seinen Lupinensamen keine Oxalsäure nachweisen können.

2) Enthalten Lupinensamen Oxalsäure, so kommt sie in Verbindung mit Calcium in denselben vor.

3) Ueber die Bedeutung der Pflanzensäuren werde ich mich an anderer Stelle, zumal im sechsten Hauptabschnitte, eingehender aussprechen.

4) Man vgl. über das Folgende Sachs, Handbuch d. Physiologie, S. 360 sowie die früher citirten Abhandlungen von Sachs über die Vorgänge bei der Keimung der Samen.

die Kohlehydrate etc., für die Zwecke des Wachsthums verwendet. Uebrigens ist zu bemerken, dass manche Gerbstoffe wohl kaum im strengsten Sinne des Worts als Nebenproducte des Stoffwechsels angesehen werden dürfen, denn sie zerfallen unter bestimmten Umständen in Farbstoffe und Zucker, der unzweifelhaft als plastisches Material Verwendung finden kann[1]).

Schliesslich will ich noch auf die Entstehung eines sehr wichtigen Farbstoffs bei der Keimung hinweisen, und zwar habe ich hier die Bildung des Etiolins, jenes Körpers, der die gelbe Farbe etiolirter Pflanzentheile bedingt, im Auge. Ueber die chemische Natur der in Rede stehenden Substanz sowie über die Processe, welche sich bei der Entstehung derselben geltend machen, sind wir nicht genauer unterrichtet; dagegen hat man, wie im achten Hauptabschnitte eingehender mitgetheilt werden soll, bereits ausführliche Untersuchungen über das optische Verhalten des Etiolins angestellt.

Als Material, welches zur Bildung des Etiolins Verwendung findet, sind höchst wahrscheinlich stickstofffreie Dissociationsproducte der Lebenseinheiten des Plasma, respct. Kohlehydrate anzusehen[2]). Ein Theil des gebildeten Etiolins kann vielleicht in den Pflanzenzellen bei Abschluss des Lichts einer Oxydation unter Kohlensäurebildung anheimfallen, während die in Rede stehende Etiolinmenge unter dem Einflusse des Lichts in Kyanophylls übergeht[3])[4]).

Der Verlauf dieses Ergrünungsprocesses der Chlorophyllkörper ist in hohem Grade abhängig von den Temperatur- und Beleuch-

1) Die Chinagerbsäure kann z. B. in Zucker und Chinaroth zerfallen. Der letztere Körper kommt neben dem erwähnten Gerbstoff in der Chinarinde vor. Ebenso liefert die Eichenrindengerbsäure unter bestimmten Umständen Zucker und Eichenroth als Zersetzungsproducte.

2) Ueber die genetischen Beziehungen zwischen den Kohlehydraten und den Chlorophyllfarbstoffen, zu denen das Etiolin ja ebenfalls gehört, vgl. man Sachsse, die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlehydrate und Proteinsubstanzen, 1877, S. 57.

3) Specielle Untersuchungen über die Entstehung des Kyanophylls aus Etiolin liegen von Wiesner (vgl. die Entstehung des Chlorophylls, Wien, 1877, S. 25) vor.

4) Mit den hier geltend gemachten Anschauungen steht die von Wiesner (vgl. dessen soeben citirte Schrift, S. 110) ausgesprochene Ansicht im Zusammenhang, dass Keimlinge bei Helligkeiten, welche das Ergrünen, nicht aber die Sauerstoffabscheidung aus ergrünten Pflanzenzellen ermöglichen, geringere Kohlensäuremengen als im Finstern produciren. (?)

tungsverhältnissen, denen sich die Pflanzenzellen ausgesetzt befinden. Ich komme darauf im siebenten und achten Hauptabschnitte eingehender zurück, und möchte hier nur noch auf das Folgende hinweisen.

Nach den Untersuchungen von Böhm[1]) und Wiesner[2]) wirkt ein grösserer Kohlensäuregehalt der Luft, mit welcher sich etiolirte Keimpflanzen in Berührung befinden, nachtheilig auf den Ergrünungsprocess derselben ein. Bei der Kresse wird die Chlorophyllbildung nach Böhm schon durch einen Kohlensäuregehalt der Luft von 2 $^0/_0$ sichtlich beeinträchtigt, durch 20 $^0/_0$ völlig gehemmt. Bei 33 $^0/_0$ werden etiolirte Leinkeimlinge hingegen noch schwach grün, und bei den Gräsern kann selbst noch ein sehr unbedeutendes Ergrünen bei einem Kohlensäuregehalt der Luft von 50 $^0/_0$ erfolgen.

1) Vgl. Böhm, Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. in Wien. 1873. B. 68. Abthl. 1. Juliheft.

2) Vgl. Wiesner: Die Entstehung des Chlorophylls. S. 100.

Sechster Hauptabschnitt.

Die Translocation plastischer Stoffe in der Keimpflanze.

Erstes Capitel.

Allgemeines über die Translocation plastischer Stoffe in der Keimpflanze.

Die plastischen Stoffe entstehen in der Pflanze gewöhnlich nicht an denjenigen Orten, an welchen sie einen Verbrauch oder eine Ablagerung erfahren sollen. Unter Berücksichtigung dieses Verhältnisses leuchtet von vornherein ein, dass das Bildungsmaterial im vegetabilischen Organismus translocirt werden muss. Die Bewegungsrichtung der plastischen Stoffe in der Pflanze kann eine sehr verschiedene sein, und im Allgemeinen ist hier zu bemerken, worauf auch schon Sachs[1]) hinweist, dass dies Bildungsmaterial entweder vom Entstehungsorte zum Verbrauchsorte, oder vom Entstehungsorte zum Ablagerungsorte, oder endlich vom Ablagerungsorte zum Verbrauchsorte wandert. Demnach ist es klar, dass die zur Neubildung von Zellen oder zur Füllung der Reservestoffbehälter dienenden Substanzen sich in der Pflanze bald von oben nach unten, bald von unten nach oben, bald aber auch in mehr oder weniger horizontaler Richtung bewegen müssen[2]). Bei der Ausbildung der Knollen müssen die Assimilationsproducte z. B. aus den Blättern in den Stamm übertreten und in diesem abwärts wandern. Die Bildung der Samen dagegen ist mit einer nach aufwärts gerichteten Translocation plastischer Stoffe verbunden. Wenn die Samen keimen, und die im Endosperm, im Perisperm

---

1) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie. S. 376.

2) Die Anschauungen der älteren Physiologen vom auf- und absteigenden Saftstrome sind, wie schon aus dem Gesagten hervorgeht, als unzureichende zu bezeichnen. Ebenso mag hier bereits bemerkt werden, dass, wie schon früher von uns angestellte Erörterungen zeigen und wie noch weiterhin ersichtlich werden wird, die Ansichten Hartig's (vgl. botan. Zeitung, 1862, S. 75 und S. 86) über die Bewegung plastischer Stoffe in der Pflanze unrichtig sind.

oder in den Cotyledonen aufgespeicherten Reservestoffe sich in Folge dessen einerseits in die Wurzel, andererseits aber in die nach aufwärts wachsenden Theile der Keimpflanze bewegen, so sind die von den plastischen Substanzen eingehaltenen Bahnen gleichzeitig und in ein und demselben Organismus verschiedene [1]).

Es erscheint mir von Wichtigkeit, zwischen den Vorgängen der Stofftranslocation, wie sie sich einerseits bei der Keimung und andererseits in der entwickelteren Pflanze geltend machen, zu unterscheiden. Zwar lassen sich die Processe stets in mehr als einer Hinsicht von gemeinschaftlichen Gesichtspunkten aus betrachten, und die in extremen Fällen thatsächlich existirende Verschiedenartigkeit ist durch unzählige Uebergänge vermittelt, aber dennoch bin ich der Meinung, dass meine Auffassung eine in der Sache selbst begründete Berechtigung besitzt.

In der Keimpflanze sind vor allen Dingen Molekularkräfte thätig, um die Wanderung plastischer Stoffe zu ermöglichen. In dem entwickelteren vegetabilischen Organismus spielen hingegen neben den Molekularkräften in den hier in Rede stehenden Beziehungen Massenbewegungen eine nicht zu unterschätzende Rolle. Während die Stoffwanderung in der Keimpflanze vorzugsweise, wenn auch nicht ausschliesslich, durch rein osmotische Processe vermittelt wird [2]), und dieselben ebenfalls im ausgebildeteren Organismus von der hervorragendsten Bedeutung sind, so gesellen sich den genannten Vorgängen im letzteren Falle doch noch andere hinzu, deren Wichtigkeit nicht zu gering angeschlagen werden darf [3]).

Dass der hier angedeutete Gegensatz in der That existirt, wird sofort klar, wenn man den anatomischen Bau der Gewebepartien der Pflanzen, in denen die Stoffwanderung erfolgt, ins Auge fasst. Der Embryo der Samen besteht in manchen Fällen (bei

---

1) Uebrigens kommt derartiges nicht nur in der Keimpflanze, sondern ebenfalls im entwickelten pflanzlichen Organismus vielfältig vor.

2) In der Keimpflanze können z. B. durch Druckkräfte Massenbewegungen hervorgerufen werden. Diese stehen allerdings aber zu osmotischen Processen in genauester Beziehung.

3) Neben den osmotischen Processen können sich bei der Stoffwanderung in der Keimpflanze und den entwickelteren Gewächsen noch anderweitige Molekularkräfte geltend machen. Zweifelsohne werden z. B. Substanzen (wohl besonders Mineralstoffe) in vielen Fällen in den Zellmembranen durch reine Imbibitionsprocesse translocirt.

Monotropa etc.) nur aus wenigen Zellen, und die Pflanze kann erst allmählich während ihrer Entwickelung eine Differenzirung erfahren. Wenn der Embryo des Samen aber auch bereits in einzelne Organe gegliedert ist, und diese eine Differenzirung in Grundgewebe, Fibrovasalstränge und Hautgewebe erfahren haben, so sind die Elementarorgane, die Zellen der Gewebe, doch noch keineswegs in der Weise ausgebildet, wie dies später der Fall ist.

Am Embryo der Samen von Solanum tuberosum unterscheidet man z. B. wohl bereits die Oberhaut, das Rindenparenchym, das Stranggewebe etc. von einander, aber alle diese Gewebeformen bestehen noch aus zartwandigen, unter einander recht ähnlich gestalteten Zellen [1][2].

Nach erfolgter Keimung differenziren sich die Gewebe der Keimpflanzen mehr und mehr. Der heranwachsende Organismus geht allmählich in den völlig ausgebildeten Zustand über, aber er bedarf dazu oft längerer Zeit. Häufig erfahren zumal die Elementarorgane der Fibrovasalstränge eine sehr weit gehende Entwickelung. Das Holz mit seinen Gefässen, Holzfasern und parenchymatischen Geweben bildet sich massig aus, und der Bast differenzirt sich in Siebröhren, Bastfasern sowie Phloemparenchym. Vor allen Dingen interessiren uns hier die Siebröhren des Weichbastes, denn gerade in ihnen erfolgt die Translocation plastischer Stoffe in einer Weise, die weit von derjenigen verschieden ist, in welcher das Bildungsmaterial hauptsächlich in der Keimpflanze wandert, und um den bereits oben angedeuteten Unterschied so recht klar hervortreten zu lassen, erscheint es geboten, zunächst einen Blick auf die Stoffbewegung im ausgebildeten vegetabilischen Organismus zu werfen.

Die ersten eingehenden experimentellen Untersuchungen über die Frage, welche Gewebeformen der Leitung plastischer Stoffe dienen, wurden von Hanstein [3]) vorgenommen. Derselbe benutzte zunächst Zweige verschiedener Dicotylen zu seinen Beobachtungen und brachte Ringelschnitte an denselben an, indem er das Rindengewebe, den Bast und das Cambium rings im Umfange der Zweige an einer Stelle entfernte. Wenn z. B. Weidenzweige oder überhaupt solche Zweige zu den Experimenten verwandt wer-

---

1) Man vgl. H. de Vries: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 7. S. 23.

2) Man vgl. übrigens unter anderem noch H. de Vries, Landwirthschaftl. Jahrbücher, B. 6, S. 473 und Just, Separatabdruck aus den Annl. d. Oenologie, B. 3, S. 7.

3) Vgl. Hanstein, Pringsheim's Jahrbücher. B. 2.

den, bei denen im Mark keine Gefässbündel, Siebröhren, Gitterzellen oder kein Cambiform vorkommen, so erfolgt oberhalb des Ringelschnitts eine kräftige Wurzelbildung, während sich unterhalb desselben keine oder wenige Wurzeln entwickeln [1]). Ein ganz anderes Ergebniss liefert der Versuch, wenn er unter Benutzung solcher Pflanzen (Piper medium, Mirabilis Jalappa) ausgeführt wird, in deren Mark Gefässbündel verlaufen [2]). Dann erfolgt auch unterhalb des Ringelschnitts eine nicht unerhebliche Wurzelbildung. Aehnliche Resultate werden bei der Ausführung von Ringelungsversuchen mit monocotylen Gewächsen erhalten. Besonders beachtenswerth sind endlich die Beobachtungen an solchen Gewächsen, bei denen auf der Innenseite der Gefässbündel, also auf der dem Marke zugewandten Seite derselben, Weichbastelemente vorhanden sind, während im Mark selbst keine Gefässbündel stehen. Dies ist z. B. bei Nerium Oleander, Vinca minor sowie Solanum Dulcamara der Fall, und nach erfolgter Ringelung verhalten sich diese Gewächse bezüglich der Wurzelproduction genau so wie diejenigen, in deren Mark Gefässbündel vorhanden sind. Auf Grund seiner Untersuchungen spricht sich Hanstein nun dahin aus, dass die Weichbastelemente, mögen dieselben in der Pflanze an diesem oder jenem Orte vorkommen, allein für die Translocation plastischer Stoffe von Bedeutung seien; das Parenchym soll nach der Ansicht des genannten Forschers dagegen keine Wichtigkeit für die Wanderung des Bildungsmaterials in den Gewächsen besitzen.

Diese Auffassung muss aber entschieden als eine unzureichende bezeichnet werden. Sachs [3]) hat dies zuerst erkannt, und die Resultate der Hanstein'schen Experimente haben durch ihn eine andere Deutung gefunden [4]).

Sachs geht dabei von dem richtigen Princip aus, dass zur Neubildung von Pflanzenorganen sowohl stickstoffhaltige als auch stickstofffreie Substanzen vorhanden sein müssen. Wenn die Weichbastelemente die Translocation plastischer Stoffe allein zu besorgen

---

1) Je länger das sich unterhalb des Ringelschnitts befindende Stengelstück ist, um so kräftiger entwickeln sich die Wurzeln an demselben.

2) Neben den markständigen Gefässbündeln ist bei Piper etc. natürlich ebenfalls der peripherische Gefässbündelkreis vorhanden.

3) Vgl. Sachs, Flora. 1863. S. 33.

4) Hanstein hat übrigens entschieden das Verdienst, auf experimentellem Wege gezeigt zu haben, dass die Elemente des Weichbastes für die Translocation plastischer Stoffe in den Gewächsen von Bedeutung sind.

hätten, so müssten sie also auch Eiweisskörper und zugleich stickstofffreie Verbindungen in grösseren Quantitäten führen. Dies ist factisch nicht der Fall. Die Weichbastelemente sind zwar sehr reich an Proteinstoffen, aber sie enthalten höchstens geringe Mengen stickstofffreier Körper. Aus diesem Grunde müssen sich an der Translocation plastischer Stoffe abgesehen vom Weichbaste noch andere Gewebeformen betheiligen. Und als solche sind die verschiedenen parenchymatischen Gewebe in den Pflanzen anzusehen, die, wie leicht festzustellen ist, thatsächlich grosse Mengen von Amylum, Glycose etc. führen [1]). Bei Dicotylen ohne Gefässbündel oder Weichbast im Mark ist die Wurzelbildung unterhalb des Ringelschnitts also deshalb keine ausgiebige, weil weder die Zuleitung stickstoffhaltiger noch diejenige stickstofffreier Körper in normaler Weise stattfinden kann. Bei Monocotyledonen und manchen dicotylen Pflanzen können dagegen, wie aus dem Gesagten hervorgeht, trotz erfolgter Ringelung sowohl stickstoffhaltige als auch stickstofffreie Stoffe in den unteren Theil der Zweige gelangen, und die Wurzelbildung unterhalb des Ringelschnitts ist in Folge dessen ermöglicht.

Wenn nun die Ergebnisse der Ringelungsversuche entschieden dafür sprechen, dass ohne die gleichzeitige Mitwirkung der Weichbastelemente und des Parenchyms die Translocation der für das Wachsthum nothwendigen Stoffe in der Pflanze nicht in normaler Weise erfolgen kann, und wenn sich auf mikrochemischem Wege leicht zeigen lässt, dass in den Weichbastelementen in der That vorzugsweise Proteinstoffe, im Parenchym aber ins Besondere Kohlehydrate vorhanden sind, so ist doch zu betonen, dass die Arbeitstheilung bei der Stoffwanderung als keine absolute erscheint. Die Siebröhren, also Gebilde, in denen sich grosse Quantitäten stickstoffhaltiger Substanzen vorfinden, führen z. B., wie Briosi [2]) gezeigt hat, gewöhnlich feinkörnige Stärke, und dieselbe kann sich in den genannten Bastelementen als solche bewegen.

Ebenso ist das Parenchymgewebe der Pflanzen nicht ohne Bedeutung für die Translocation stickstoffhaltiger Körper, und wenngleich die Weichbastelemente, namentlich unter Berücksichtigung des Umstandes, dass sie reichliche Quantitäten stickstoffhaltiger Substanzen führen, als Organe angesehen werden müssen, welche für die Stoffwanderung eine erhebliche Bedeutung besitzen, so ist

1) Besonders zu betonen ist hier, dass z. B. das Markparenchym von Nerium und Solanum reichliche Stärkemengen führt.

2) Vgl. Briosi: Botan. Zeitung. 1873. S. 303.

dennoch zu betonen, dass das Parenchym der entwickelten Pflanzen sich gewiss in vielen Fällen in hervorragender Weise an der Leitung stickstoffhaltiger Verbindungen betheiligt. Ich sehe hier gänzlich davon ab, dass sich in Parenchymzellen unzweifelhaft aus stickstoffhaltigen anorganischen Stoffen (Salpetersäure, Ammoniak) und Kohlehydraten Proteinkörper bilden können; betonen möchte ich aber, dass ja nach unserer Vorstellung die Lebenseinheiten des Plasma unter allen Umständen in stickstoffhaltige Körper (Säureamide sowie Amidosäuren) und stickstofffreie Substanzen zerfallen. Boròdin[1]) hat thatsächlich constatiren können, dass jene Stickstoffverbindungen nicht nur in den Keimpflanzen, sondern ebenso im entwickelten pflanzlichen Organismen entstehen[2]), und da dieselben wirklich die Fähigkeit besitzen, aus einer Zelle in eine andere überzugehen, so muss dem Parenchym eine Bedeutung für die Translocation stickstoffhaltiger Substanzen zuerkannt werden. Diese Bedeutung wird um so mehr hervortreten, je plasmareicher die Parenchymzellen sind[3]).

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Translocation plastischer Stoffe in den entwickelten Pflanzen unter Mitwirkung von Molekularkräften zu Stande kommt. Die stickstofffreien und stickstoffhaltigen Substanzen im Parenchym müssen natürlich im Stande sein, aus einer geschlossenen Zelle in die andere überzugehen, und wenn dabei auch, wie weiter unten gezeigt werden soll, ganz eigenthümliche Verhältnisse mit ins Spiel kommen, so ist doch a priori klar, dass jener Vorgang sich nur in Folge osmotischer Processe geltend machen kann. Ebenso werden etwaige Concentrationsver-

1) Vgl. Borodin: Botan. Zeitung. 1878. Nr. 51 und 52.

2) Es bedarf übrigens besonderer Vorsichtsmassregeln, um das Auftreten von Asparagin etc. in der entwickelten Pflanze zu constatiren, da die Eiweisszersetzungsproducte in normal assimilirenden Gewächsen sogleich wieder in Proteinstoffe umgewandelt werden.

3) Uebrigens ist zu bemerken, dass in der Pflanze nicht nur Weichbastelemente und Parenchym von Bedeutung für die Translocation plastischer Stoffe sind, sondern dass ferner das Holz sowie die milchsaftführenden Organe in Betracht kommen können. Bezüglich der Leistungsfähigkeit des Holzes in der hier in Rede stehenden Beziehung vergleiche man die Angaben von Sachs (Handbuch, S. 385). Was die Milchsaftgefässe etc. anbelangt, so ist zur Begründung des Gesagten nur auf die Thatsache hinzuweisen, dass dieselben factisch stickstoffhaltiges und stickstofffreies Bildungsmaterial enthalten. So zeigt der an der Luft von selbst coagulirende Milchsaft von Euphorbia platyphyllos nach Weiss und Wiesner (vgl. botan. Zeitung, 1862, S. 125) z. B. die folgende Zusammensetzung: Wasser 77.22 %, Harz 8.12 %, Gummi 2.15 %, Kautschuk 0.73 %, Zucker und Extractivstoffe 6.41 %, gelöstes Eiweiss 0.51 %, ungelöstes Eiweiss 2.02 %, Fett 1.33 % und Asche 1.51 %.

schiedenheiten des Milchsaftes durch Diffusionsprocesse der vorhandenen gelösten Körper ausgeglichen werden können. Abgesehen davon erfahren aber die Säfte, welche die entwickelteren Pflanzen in solchen Elementarorganen führen, die auf lange Strecken hin in offener Communication unter einander stehen (Siebröhren, Milchsaftgefässe), Massenbewegungen, und dieselben werden namentlich durch Erschütterungen, denen die Pflanzen unterliegen, sowie durch Spannungsverhältnisse, welche sich im Organismus geltend machen, hervorgerufen [1])[2]).

Mit Rücksicht auf die Stoffwanderung in der Keimpflanze ist zu bemerken, dass die reichliche Proteinstoffquantitäten führenden Elementarorgane der Gefässbündel sich gewiss auch hier an der Fortleitung stickstoffhaltiger Körper betheiligen. Zunächst repräsentiren aber diese Eiweissstoffe führenden Elemente der Keimpflanzen noch allseitig geschlossene Zellen, und die Wanderung stickstoffhaltiger Verbindungen in denselben kann also nur unter Vermittelung osmotischer Processe erfolgen [3]). Im Parenchymgewebe der Keimpflanzen wandern ebenso wie in demjenigen der entwickelteren Gewächse stickstofffreie sowie stickstoffhaltige Körper. In dieser Beziehung ist die Angabe Pfeffer's [4]) von besonderem Interesse, dass das in manchen Keimpflanzen massenhaft auftretende Asparagin stets in denselben Geweben anzutreffen ist, in welchen die Glycose vorkommt [5]).

Es erscheint überflüssig, hier noch weitere Beweise dafür beizubringen, dass osmotische Processe bei der Translocation plastischer Stoffe in den Gewächsen, zumal aber in der Keimpflanze, eine überaus wichtige Rolle spielen. Wir wenden uns jetzt viel-

1) Ueber die Bedeutung der Spannungsverhältnisse in der hier in Rede stehenden Beziehung vergleiche man namentlich Kraus, botan. Zeitung, 1867.

2) Es ist übrigens nicht zu übersehen, dass die Substanzen, welche in den Siebröhren und Milchsaftgefässen translocirt worden sind, Diffusionsfähigkeit erlangen müssen, wenn sie aus den genannten Elementen in parenchymatisches Gewebe übergehen und sich in demselben verbreiten sollen.

3) Die Eiweissstoffe können als solche, wie weiter unten gezeigt werden soll, nicht aus einer geschlossenen Zelle in eine andere übergehen, sie müssen daher, wenn sie in den Gefässbündelelementen der Keimpflanzen wandern, zunächst ein Material liefern, welches auf osmotischem Wege translocirt werden kann.

4) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher. B. 8. S. 538.

5) Dem Asparagin analog werden sich zweifelsohne andere Säureamide und ebenso Amidosäuren, die bei der Keimung entstehen, verhalten.

mehr der Frage zu, unter welchen Bedingungen diese osmotischen Vorgänge im vegetabilischen Organismus selbst zu Stande kommen.

Es ist vor allen Dingen erforderlich, um zu einer klaren Vorstellung über den Verlauf osmotischer Processe in der Pflanze zu gelangen, darauf hinzuweisen, dass nicht nur die Zellmembranen von Einfluss auf die in Rede stehenden Vorgänge sind. Neuere Untersuchungen, auf die wir weiter unten eingehen werden, haben vielmehr gezeigt, dass ebenfalls das Plasma von Bedeutung für das Zustandekommen der osmotischen Erscheinungen ist. Und zwar muss sowohl die Region desselben, welche der Zellmembran zugewandt ist, als auch diejenige, welche sich in unmittelbarem Contact mit dem Zellsaft in den Vacuolen befindet, besondere Berücksichtigung erfahren. Jede einzelne Zelle repräsentirt demnach bereits für sich einen complicirten osmotischen Apparat, indem die von der Zellmembran imbibirte Flüssigkeit von derjenigen, welche das Plasma imbibirt hat, durch eine Plasmaschicht, die sehr eigenthümliche osmotische Wirkungen ausübt, getrennt ist, und indem ferner die Vacuolenflüssigkeit ebenfalls von einer analog wirkenden Plasmaschicht umschlossen wird [1]). Noch weit verwickelter gestalten sich die Verhältnisse, wenn, wie es in den Keimpflanzen der Fall ist, viele Zellen sich mit einander in Berührung befinden; dann erfolgt ein osmotischer Austausch zwischen dem Inhalte der einzelnen Elementarorgane, und derselbe steht überdies noch in Beziehung zu anderweitigen Vorgängen im Organismus.

Indem wir zunächst das Verhalten der Zellmembranen bei dem Zustandekommen osmotischer Processe ins Auge fassen, ist zu betonen, dass die fraglichen Verhältnisse viel Aehnlichkeit mit denjenigen darbieten, welche sich geltend machen, wenn anderweitige Membranen (Schweinsblase, vegetabilisches Pergament) zwischen verschiedenen Flüssigkeiten als Scheidewände vorhanden sind. Zwar würde man fehlgehen, wollte man die Resultate, die man bei Diffusionsversuchen unter Anwendung künstlicher Membranen erhält, unmittelbar und im Einzelnen auf die Processe im vegetabilischen Organismus übertragen, aber auf alle Fälle ist doch so viel gewiss, dass jene Versuche wichtige Anhaltspunkte zur Beurtheilung gewisser osmotischer Processe in der Pflanze liefern können.

---

1) Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass überdies noch in der Flüssigkeit, die von dem Körnerplasma festgehalten wird, und ebenso in der Vacuolenflüssigkeit Diffusionsprocesse zu Stande kommen können.

Die ersten eingehenderen Untersuchungen über osmotische Processe sind bekanntlich von Dutrochet ausgeführt und im 35. Bande der Annalen de chm. et de phys. zur Kenntniss gebracht worden. Jolly stellte dann später den Begriff des endosmotischen Aequivalents auf, aber da Jolly bereits selbst beobachtet hatte, dass ein und demselben Körper bei verschiedenen Temperaturen nicht constant dasselbe endosmotische Aequivalent eigenthümlich ist, und da Ludwig[1]) überdies feststellte, dass dasselbe sehr bedeutend bei verschiedener Concentration der Lösungen variirt, so erscheint es geboten, den Ausdruck „endosmotisches Aequivalent" überhaupt nicht zu gebrauchen[2]).

Ueber das Wesen der osmotischen Processe sind sehr verschiedene Ansichten ausgesprochen worden. Eine höchst beachtenswerthe Theorie, welche vielen Thatsachen Rechnung trägt und sich deshalb auch grosse Anerkennung erworben hat, ist von Brücke[3]) entwickelt worden.

Brücke geht von der Voraussetzung aus, dass zwischen den Theilchen der Membranen wirkliche Poren vorhanden sind, und dass diese letzteren für das Zustandekommen osmotischer Erscheinungen die grösste Wichtigkeit besitzen. Indessen ist nach der Ansicht des genannten Forschers ferner zu berücksichtigen, dass sich die Theilchen der Membranen selbst bei dem Processe der Osmose den Flüssigkeiten gegenüber nicht indifferent verhalten, sondern eine eigenthümliche Anordnung derselben in den Poren bedingen.

Wir erwähnten bereits bei Gelegenheit unserer Auseinandersetzungen über den Imbibitionsprocess, dass, wenn die wässerige Lösung eines Salzes mit einer Membran in Wechselwirkung geräth, die Wassermoleküle lebhafter als die Salzmoleküle von derselben angezogen werden. Somit muss nach Brücke, wenn Wasser und Salzlösungen durch eine Membran von einander getrennt sind, die Wandung eines jeden Porus von einer Schicht reinen Wassers überzogen werden, während in den Poren selbst eine Salzlösung von bestimmter Concentration verweilt. Auf Grund dieser Anschauung hebt Brücke nun hervor, dass in den Poren der Membranen selbst Diffusionströme zu Stande kommen, die denjenigen, welche sich

1) Vgl. Ludwig, Poggd. Annl. B. 78. S. 307.

2) Zumal ist der Ausdruck „Aequivalent" nicht geeignet, da er in der Chemie und Physik für sehr constante Verhältnisse angewandt wird, Jolly's endosmotische Aequivalente aber in hohem Grade schwankende Werthe repräsentiren.

3) Vgl. Brücke, Poggd. Annl. B. 58. S. 77.

zwischen zwei Flüssigkeiten geltend machen, zwischen denen keine Membran eingeschaltet ist, ganz analog sind. Einerseits geht Wasser in die Salzlösung, andererseits Salzlösung in das Wasser über. Ferner aber entzieht die Salzlösung den Porenwandungen ebenfalls das von diesen festgehaltene Wasser und bedingt dadurch eine erneute Wasseraufnahme seitens der Substanz der Membran.

Zwar lassen sich mit der Theorie Brücke's manche Phänomene, die bei osmotischen Processen zur Geltung kommen, in Einklang bringen; aber dennoch genügt dieselbe keineswegs zur Erklärung aller Erscheinungen. Bereits Fick[1]) hat dies klar erkannt. Seine Betrachtungen über das Wesen der osmotischen Processe verdienen in der That hohes Interesse, und dieselben sind auch den folgenden Auseinandersetzungen über die Natur der hier in Rede stehenden Vorgänge zu Grunde gelegt [2]).

Wird ein mit capillaren Poren versehener Körper, etwa eine Thonplatte, zwischen zwei Flüssigkeiten eingeschaltet, so verläuft der Diffusionsprocess allerdings nicht so schnell wie bei Abwesenheit der Scheidewand, aber der Hauptsache nach muss er sich doch in ganz analoger Weise geltend machen. Die Flüssigkeiten dringen in die Capillaren ein; sie mischen sich in denselben mit einander, und damit ist der Anstoss für das Zustandekommen der Diffusionsprocesse gegeben.

Wenn hingegen zwischen zwei Flüssigkeiten eine Membran, die frei von capillaren Poren ist, ausgespannt wird, so können sich nur dann osmotische Processe geltend machen, wenn die Flüssigkeiten die Membran zu imbibiren vermögen. Die Wege, in denen sich die osmotischen Ströme bewegen, existiren in diesem Falle in der trockenen Membran keineswegs; vielmehr bilden sie sich erst in Folge der Imbibition [3]). Die Anordnung der Flüssigkeitstheilchen in den intertagmatischen Räumen kann nun offenbar in der von Brücke angegebenen Weise erfolgen, nur ist hervorzuheben, dass dann, wenn die Membran Wasser und Salzlösungen

1) Vgl. Fick, Poggend. Annalen, B. 94, S. 59 und medicinische Physik, 2. Auflage, 1866, S. 54.

2) Das Hauptverdienst Fick's in der hier in Rede stehenden Beziehung besteht darin, auf die sich bei dem Zustandekommen der Osmose geltend machenden elementaren Vorgänge hingewiesen zu haben.

3) Auf Specialfälle gehen wir hier nicht weiter ein. Es sei nur erwähnt, dass osmotische Processe auch dann zu Stande kommen können, wenn lediglich die eine Flüssigkeit die Membran zu imbibiren vermag.

von einander trennt, höchstens diejenige Flüssigkeitsschicht, welche die Tagmen unmittelbar überzieht, reines Wasser repräsentiren wird, während die Lösung nach der Mitte der intertagmatischen Räume zu allmählich eine höhere Concentration annehmen muss[1]).

Endlich kann ein osmotischer Austausch der Flüssigkeiten, wenn dieselben in die Constitution der Tagmen einzutreten vermögen, auch durch diese selbst erfolgen[2]).

Verschiedene Membranen (Schweinsblase, vegetabilisches Pergament), die man bei Untersuchungen über osmotische Processe vielfach in Anwendung gebracht hat, sind häufig nicht frei von capillaren Poren, und somit sind die Bedingungen für das Zustandekommen der „Porendiffusion“ gegeben. Dieser Porendiffusion stellt Fick den Vorgang der „Endosmose“ entgegen, und zwar kann sich derselbe immer nur dann geltend machen, wenn die Membran imbibitionsfähig ist, so dass der Austausch der Flüssigkeiten in den intertagmatischen Räumen erfolgt. Dies ist thatsächlich in allererster Linie der Fall, wenn die genannten Membranen zwei Flüssigkeiten von einander trennen; die Porendiffusion spielt dann immer nur eine untergeordnete Rolle, und ob ein osmotischer Austausch der Flüssigkeiten durch die Tagmen selbst erfolgt, ist in hohem Grade unwahrscheinlich[3]).

Für die Weiterentwickelung der Theorie der osmotischen Erscheinungen ist es offenbar von grosser Wichtigkeit, stets im Auge zu behalten, dass dieselben verschiedenen Processen ihre Entstehung verdanken können. Aus praktischen Rücksichten empfiehlt es sich aber dennoch, jeden Austausch von Flüssigkeiten durch eine Membran kurzweg als Osmose oder Diosmose zu bezeichnen, gleichgültig, ob derselbe lediglich unter Vermittelung intertagmatischer Räume oder daneben unter Vermittelung der Tagmen selbst erfolgt.

Die Zellhaut scheint nun in der That viel Aehnlichkeit hinsichtlich ihres Verhaltens bei der Osmose mit anderweitigen Membranen (Schweinsblase, Pergamentpapier) zu besitzen. Dies zeigt

---

1) Eine analoge Anordnung der Flüssigkeitstheilchen kann ebenso in capillaren Poren erfolgen, wenn die Wandsubstanz auf eine der Flüssigkeiten eine besonders energische Anziehung ausübt.

2) Vgl. hierüber Pfeffer: Osmotische Untersuchungen. 1876. S. 35.

3) Ein osmotischer Austausch durch die Tagmen selbst wird wohl überhaupt nur sehr selten zu Stande kommen. Auch die Tagmen vegetabilischer Zellmembranen gestatten denselben höchst wahrscheinlich nicht.

sich schon darin, dass die Zellhaut solche Körper, z. B. Mineralstoffe, Zucker etc., die künstliche Membranen leicht passiren können, ebenfalls leicht durchlässt. Es ist danach sehr wahrscheinlich, dass sich diejenigen Körper, welche Graham[1]) als Krystalloidsubstanzen bezeichnet, und ebenfalls diejenigen, die der genannte Forscher als Colloidsubstanzen unterscheidet, der vegetabilischen Zellmembran gegenüber im Wesentlichen derartig wie zu anderweitigen Membranen verhalten werden. Dass aber eine völlige Identität im Verhalten der Zellmembranen und anderer Membranen nicht zu existiren braucht, wird bereits klar, wenn man bedenkt, dass selbst verschiedene Membranen, die man gewöhnlich bei dem Studium der Osmose in Anwendung bringt, durchaus nicht dieselbe Rolle bei dem Zustandekommen osmotischer Processe spielen. Wasser vermag thierische Membranen z. B. leicht zu durchdringen; von Kautschukmembranen wird es hingegen nicht aufgenommen, während nicht zu dicke Kautschukplatten Alkohol in erheblichen Quantitäten passiren lassen[2]).

Die Regionen des Plasma, die von Einfluss auf die osmotischen Processe in der Pflanze sind, verhalten sich, dies muss von vornherein mit Nachdruck betont werden, wesentlich anders als die Zellmembranen. Ich erwähne hier zunächst nur im Allgemeinen, was weiter unten specieller ausgeführt werden soll, dass die betreffenden Plasmaschichten manche Körper, welche die Zellmembranen mit grösster Leichtigkeit passiren, lediglich unter ganz speciellen Verhältnissen und unter Mitwirkung besonderer Kräfte durchlassen.

Pfeffer[3]) hat zur Erforschung des Verhaltens des Plasma bei der Osmose eingehende Untersuchungen angestellt und zunächst, wie bereits im ersten Hauptabschnitte angedeutet worden ist, Niederschlagsmembranen auf ihre hier in Betracht kommenden Eigenschaften geprüft. Die auf die früher angegebene Weise dargestellten Niederschlagsmembranen von Ferrocyankupfer liessen, wie Pfeffer fand, Gummi und Dextrin durchaus nicht passiren[4]).

---

1) Vgl Graham, Annl. d. Chm. und Pharm. B. 71.

2) Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass, während die Porendiffusion bei dem Austausch verschiedener Flüssigkeiten durch Schweinsblase oft eine Rolle spielt, dies wohl kaum der Fall ist, wenn eine vegetabilische Zellmembran zwei Flüssigkeiten von einander scheidet.

3) Vgl. Pfeffer: Osmotische Untersuchungen. 1877.

4) Offenbar ist die Ursache der Erscheinung, dass manche Körper gewisse Membranen bei dem Verlaufe rein osmotischer Processe nicht passiren können, in den

Rohrzucker durchdrang die Membranen dagegen in sehr geringer Menge, wenn mit etwas concentrirteren Lösungen desselben experimentirt wurde [1]). Chlorkalium, salpetersaures Kali, schwefelsaures Kali sowie essigsaures Ammoniak sind im Stande, Ferrocyankupfermembranen in geringen Quantitäten zu passiren. Befindet sich auf der einen Seite einer Membran Wasser, auf der anderen aber die Lösung eines Körpers, der die Membran nicht zu passiren vermag, so wird sich ein einseitiger Wasserstrom von jener nach dieser Seite hin bewegen. Andersartig gestalten sich die Verhältnisse natürlich, wenn der gelöste Stoff im Stande ist, die Membran zu durchdringen.

Wenn nun, wie bereits angedeutet wurde, das Plasma von hervorragendem Einfluss auf den Verlauf osmotischer Processe in der Pflanzenzelle ist, so drängt sich die Frage auf, welche Region desselben hierbei vor allen Dingen ins Spiel kommt. Das Körnerplasma [2]) kann, wie Pfeffer bereits in seiner citirten Schrift hervorhebt, die fraglichen wunderbaren Eigenschaften des Protoplasma nicht bedingen, denn wenn im Körnerplasma, wie Thatsache ist, selbst feste Körpertheilchen mit Leichtigkeit durch einander geworfen werden, so müssen sich die verschiedensten gelösten Stoffe ungehindert in demselben bewegen können. Es muss also die hyaline Hautschicht, für welche Pfeffer die recht passende Bezeichnung „Hyaloplasma“ vorgeschlagen hat, vor allen Dingen bestimmend auf das Verhalten des Plasma bei osmotischen Processen einwirken. Nach Pfeffer's Ansicht ist aber nicht das gesammte Hyaloplasma, sondern nur eine periphere Schicht desselben bestimmend für die osmotischen Vorgänge [3]), und diese Schicht bezeichnet der genannte Autor als „Plasmamembran“ [4]). Auch der Zellsaft in den Vacuolen wird von dem Körnerplasma durch eine Plasmamembran abgegrenzt. Die Entstehung der Plasmamembran kann derartig gedacht wer-

Grössenverhältnissen der intertagmatischen Räume der Membranen und der Moleküle jener Körper zu suchen.

1) Mit Lösungen von 10 % Zuckergehalt. Wurde mit 5procentigen Lösungen gearbeitet, so drangen keine nachweisbaren Zuckermengen mehr durch die Membran.

2) Vgl. Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung. 1876. 2. Auflage. S. 286.

3) Wenn das Hyaloplasma sehr geringe Dicke besitzt, so kann dasselbe nach Pfeffer seiner Gesammtmasse nach als Plasmamembran aufgefasst werden.

4) Pfeffer hebt ausdrücklich hervor, dass die obige Unterscheidung einer Plasmamembran nur mit Rücksicht auf das diosmotische Verhalten von ihm vorgenommen und in morphologischer Hinsicht vielleicht überhaupt nicht geboten sei.

den, dass zwei im Plasma vorhandene Körper auf einander einwirken und ein Fällungsproduct liefern, oder es kann auch eine einzige im Plasma gelöste Substanz durch den Einfluss des Wassers zur Abscheidung gelangen. Dieser letztere Process würde also etwa demjenigen analog sein, der sich geltend macht, wenn ein Tropfen einer concentrirten Gerbsäurelösung, die gerbsauren Leim in Lösung enthält, in Wasser gelangt[1]).

Vergleicht man das Verhalten, welches einerseits künstlich dargestellte Niederschlagsmembranen, andererseits aber Plasmamassen bei dem Zustandekommen osmotischer Processe zeigen, so wird man nicht verkennen, dass die Uebereinstimmung in beiden Fällen eine überraschende ist. Eben diese Erfahrung hat aber Pfeffer zu der Annahme geführt, dass die osmotisch bestimmende Region des Plasma selbst eine Niederschlagsmembran sei. Und der Erfolg, den Pfeffer durch seine mit grosser experimenteller Ausdauer ausgeführten Beobachtungen sowie durch seine scharfsinnigen Deductionen erzielt hat, liegt besonders darin, dass jene Analogie in klarster und bestimmtester Weise hervorgetreten ist. Nichts desto weniger kann ich mich selbst nach eingehendstem Studium der Schrift Pfeffer's und nach sorgsamster Erwägung aller in Betracht kommenden Verhältnisse nicht entschliessen, die Plasmamembran als eine besondere Region des Hyaloplasma anzuerkennen. Es ist hier nicht der Ort, die Differenzen zwischen Pfeffer's und meiner Auffassung zu entwickeln; nur so viel will ich betonen, dass man einer grossen Reihe von Hülfshypothesen bedarf, wenn man an der Existenz einer Plasmamembran festhält. Ich ziehe es vor, die Ursache des wunderbaren Verhaltens des Plasma bei osmotischen Processen einfach in dem eigenthümlichen molekularen Bau des Hyaloplasma zu suchen, und selbst dann, wenn man von der Ueberzeugung durchdrungen ist, dass die Schichten des Hyaloplasma von aussen nach innen zu an Dichte abnehmen, bedarf man der Plasmamembran nicht zur Erklärung der osmotischen Erscheinungen.

Nach dem Gesagten ist so viel auf alle Fälle sicher, dass Substanzen unter gewöhnlichen Umständen nur dann in das Innere der Zellen aufgenommen werden oder aus den Zellen der Pflanzen austreten können, wenn sie die Fähigkeit besitzen, sowohl die Zellmembran als auch das Hyaloplasma zu passiren. Die Zellmembranen verhalten sich bei dem Zustandekommen osmo-

---

1) Vgl. Pfeffer: Osmotische Untersuchungen. 1877. S. 133.

tischer Processe, wie vorliegende Beobachtungen zeigen, sicher ganz ähnlich wie z. B. Membranen von vegetabilischem Pergament oder thierische Häute[1]), während die osmotischen Eigenschaften des Hyaloplasma die grösste Aehnlichkeit mit denjenigen der Niederschlagsmembranen aufweisen.

Nur unter ganz besonderen Umständen ist es denkbar, dass Stoffe, deren Lösungen nicht ohne weiteres in das Hyaloplasma eindringen können, dennoch in das Innere der Zellen, in das Plasma selbst gelangen. Pfeffer[2]) hat bereits darauf hingewiesen, dass ein solcher Körper, der in fester Form zwischen Zellhaut und Hyaloplasma ausgeschieden ist, von dem Plasma aufgenommen werden kann. Ob in der höheren Pflanze thatsächlich jemals plastische Stoffe auf diese Weise in das Innere der Zellen gelangen, ist sehr fraglich, aber dennoch mag hier erwähnt werden, dass bekanntlich die Plasmoden der Myxomyceten feste Körper wirklich in sich aufnehmen können[3]).

Ferner ist hier hervorzuheben, dass Substanzen, deren Moleküle zu gross sind, um im Stande zu sein, die intertagmatischen Räume des Hyaloplasma bei rein osmotischen Processen zu passiren, das Plasma dennoch unter Mitwirkung von Druckkräften verlassen können.

Dass sich Druckkräfte in der Pflanze häufig geltend machen, ist von vornherein anzunehmen. Dieselben können natürlich nur dann zu Stande kommen, wenn die Gewächse schwach oder gar nicht transpiriren, so dass die Zellen energisch turgesciren. Sehr bedeutende Druckkräfte werden in den Pflanzen beim Zustandekommen der Wurzelkraft erzeugt[4]); aber nicht nur in den unterir-

---

1) Damit soll keineswegs gesagt sein, dass die Structurverhältnisse der Zellmembranen und anderer Membranen dieselben sind. Die letzteren sind z. B. oft mehr oder weniger reich an capillaren Poren, während diese den Zellmembranen doch sicher fehlen.

2) Vgl. Pfeffer: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 5, S. 115.

3) Haben Plasmamassen feste Körper in sich aufgenommen, so nehmen sie sogleich wieder ihre ursprüngliche Beschaffenheit an, d. h. das Körperplasma erscheint nach wie vor von dem Hyaloplasma umgeben.

4) Ich habe mich selbst mit eingehenderen Untersuchungen über den Wurzeldruck beschäftigt und die Resultate meiner Beobachtungen im ersten Bande der von Schenk und Luerssen herausgegebenen Mittheilungen aus dem botan. Institut der Universität Leipzig, sowie im achten Hefte des ersten Bandes der Sammlung physiologischer Abhandlungen, herausgegeben von Preyer, zur Kenntniss gebracht.

dischen Organen der Gewächse, sondern ebenfalls in anderweitigen Pflanzentheilen können dieselben auftreten. Die Excretion des Nectars in den Blüthen beweist dies z. B. [1]). Ebenso kann in den Bechern der Nepenthesblätter Flüssigkeit abgeschieden werden, wenn dieselben sich in keiner Weise mehr mit den Wurzeln in Verbindung befinden. Ferner hat Sachs [2]) Halmstücke verschiedener Gräser abgeschnitten und mit ihrem unteren Ende in feuchten Sand gesteckt. In einem wasserdampfreichen Raume wurde am oberen Ende der Internodien Flüssigkeit abgeschieden. Neuerdings hat Pitra [3]) endlich gezeigt, dass in den Zellen isolirter Stengel und Blätter sehr allgemein Druckkräfte erzeugt werden, die unter geeigneten Umständen im Stande sind, Flüssigkeit aus den Organen hervorzupressen [4]).

Die Druckkräfte kommen aber dadurch zu Stande, dass die im Plasma vorhandenen Substanzen ihre osmotischen Wirkungen äussern. Sie ziehen energisch Wasser an, das Plasma erleidet in Folge dessen eine Volumenzunahme, und das Hyaloplasma legt sich der Zellhaut dicht an. Schliesslich turgescirt die ganze Zelle, indem die Zellmembran und das Hyaloplasma energisch gedehnt werden und ihrerseits einen Druck auf den Zellinhalt ausüben. Wenn aber die active Spannung des letzteren eine gewisse Grenze überschreitet, so kann dies eintreten, dass ein Theil der in der Zelle vorhandenen Flüssigkeit mit Gewalt durch die erweiterten intertagmatischen Räume des Hyaloplasma hindurchgepresst (hindurchfiltrirt) und selbst in benachbarte Zellen übergeführt wird [5]).

Ueber die Quantität und die Concentration der Flüssigkeiten, welche im vegetabilischen Organismus unter Vermittelung von Druckkräften aus einer Zelle in die andere übertreten können, sind wir heute noch nicht genau unterrichtet.

So viel ist a priori gewiss, dass die Filtrationsgeschwindigkeit einer Lösung mit steigendem Druck und zunehmender Temperatur grösser werden muss. Ferner lassen die Resultate, zu denen W.

---

1) Der Näctar der verschiedensten Blüthen enthielt Rohrzucker neben unkrystallisirbarem Zucker, so dass diese Substanzen mit dem Wasser aus den Zellen herausgepresst sein müssen.

2) Vgl. Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 4. Auflage. S. 660.

3) Vgl. Pitra, Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschl. Botanik. B. 11, H. 3.

4) Ob in der Keimpflanze Druckkräfte zu Stande kommen, und ob dieselben Wasser oder Lösungen verschiedener Stoffe aus einer Zelle in andere befördern, soll später erörtert werden.

5) Natürlich kommen ebenfalls in der Vacuolenflüssigkeit Druckkräfte zur Geltung.

Schmidt[1]), Hofmeister[2]) sowie Runeberg[3]) bei ihren Untersuchungen über den Filtrationsprocess gelangten, erkennen, dass Eiweisslösungen thierische und pflanzliche Membranen, wenn sie unter Druck durch dieselben hindurchgepresst werden, in weit geringeren Quantitäten als Salzlösungen passiren. Ebenso ist es gewiss, dass dann, wenn eine Eiweisslösung (vielleicht die Lösung jeder colloiden Substanz) durch Membranen filtrirt wird, das Filtrat meist eine geringere Concentration als die ursprüngliche Flüssigkeit besitzt. Salzlösungen zeigen hingegen ein anderes Verhalten[4]).

Den Cellulosemembranen der Pflanzenzellen gegenüber werden sich die unter Vermittelung von Druckkräften aus einer Zelle in eine andere übergehenden Lösungen ganz ähnlich verhalten, wie zu Membranen von Schweinsblase oder vegetabilischem Pergament, durch welche die Lösungen künstlich hinduchfiltrirt werden. Aber es ist ja gewiss, dass nicht nur die Zellhaut, sondern ebenso das Hyaloplasma massgebend für den Verlauf der hier in Rede stehenden Vorgänge sein muss, und über das Verhalten des letzteren bei der Filtration sind wir noch gar nicht näher unterrichtet.

Einigen Aufschluss über die Frage, welche Stoffe im Plasma die osmotischen Erscheinungen und zumal die Druckkräfte hervorrufen, gewinnt man, wenn man bedenkt, dass die im Plasma vorhandene Flüssigkeit (Zellsaft in den Vacuolen und vom Plasma imbibirte Lösungen) Mineralstoffe, Kohlehydrate sowie Proteinstoffe enthalten. Die osmotischen Druckwirkungen der vom Hyaloplasma umschlossenen Lösungen krystalloider Körper sind, wie wir sogleich sehen werden, entschieden bedeutender als diejenigen, welche Lösungen colloider Substanzen, wenn dieselben gleiche Concentration wie jene Lösungen besitzen, ausüben. Colloide Stoffe können erst in concentrirteren Lösungen erheblichere Druckkräfte erzeugen. Krystalloidsubstanzen (z. B. Mineralstoffe) finden sich sicher nur in relativ geringen Mengen im Plasma, während dasselbe unter Umständen recht reich an gelösten Colloidverbindungen (z. B. Proteinstoffen) sein kann, so dass also die Wirkung der letzteren ebenfalls nicht zu unterschätzen ist[5]).

---

1) Vgl. W. Schmidt, Poggend. Annl. B. 99, S. 37 und B. 114, S. 337.

2) Vgl. Hofmeister, Flora, 1858, S. 9 und 1862, S. 142.

3) Vgl. Runeberg, Wagner's Archiv f. Heilkunde. 18. Jahrgang. S. 1.

4) Man vgl. noch Fick, Medicinische Physik, 2. Aufl., S. 33 und Hoppe-Seyler, Physiol. Chemie. 1877. S. 150.

5) Dass die Concentration der Lösungen von Einfluss auf die osmotische Druck-

Dass aber Lösungen von Krystalloiden, welche dieselbe Concentration besitzen wie Lösungen colloider Stoffe, factisch unter Umständen grössere Druckwirkungen als die letzteren herbeiführen können, ist wieder von Pfeffer[1]) gezeigt worden. Der genannte Forscher brachte 6procentige Lösungen verschiedener Stoffe mit Membranen in Berührung und suchte die sich geltend machenden Druckhöhen (gemessen an der Höhe einer Quecksilbersäule) festzustellen[2]).

Einige Resultate der Beobachtungen Pfeffer's sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Angewandte Substanz.	Druckhöhe in Cm. unter Anwendung von Pergamentpapier.	Thierblase.	Ferrocyankupfermembran.
Gummi arabicum	17.9	13.2	25.9
Flüssiger Leim	21.3	15.4	23.7
Rohrzucker	29.0	14.5	287.7
Salpeter	20.4	8.9	700.0

Diese Angaben zeigen sehr deutlich, dass Krystalloide (hier Rohrzucker und Salpeter) weit bedeutendere Druckhöhen als Colloide hervorrufen können. Früher war man nicht im Stande, diese Thatsache sicher festzustellen, da man stets unter Anwendung von Pergamentpapier oder Thierblase experimentirte, also Membranen benutzte, die Krystalloide sehr leicht diosmosiren lassen. In Folge dessen konnten die Krystalloide niemals die ihnen entsprechende maximale Druckhöhe zur Geltung bringen, und dies war selbst nicht bezüglich des salpetersauren Kalis in dem vorliegenden Versuche, bei dessen Ausführung eine Ferrocyankupfermembran benutzt wurde, der Fall, denn das genannte Salz ist im Stande, dieselbe auf osmotischem Wege in nachweisbaren Quantitäten zu passiren[3]).

---

höhe, die erzielt wird, ist, hat Pfeffer (vgl. Osmotische Untersuchungen, S. 80) auf experimentellem Wege dargethan.

1) Pfeffer: Osmotische Untersuchungen. S. 73.

2) Specielles über Anordnung der Versuche ist in Pfeffer's Schrift nachzulesen. Unter „Druckhöhe" ist stets der schliesslich sich herausstellende Gleichgewichtszustand zwischen Einstrom und Ausstrom zu verstehen. Der letztere braucht übrigens nicht unter allen Umständen zu Stande zu kommen.

3) Hier sei noch bemerkt, dass auch recht verdünnte Lösungen verschiedener Stoffe nach Pfeffer (vgl. S. 81 und 82) in Berührung mit Niederschlagsmembranen bedeutende Druckhöhen hervorrufen können, und dass die Druckhöhen ein wenig mit der Temperatur steigen (vgl. S. 85).

Wenn die vorstehenden Erörterungen zur Genüge gezeigt haben, dass die Stoffwanderung in der Keimpflanze wesentlich durch osmotische Processe vermittelt wird, so handelt es sich schliesslich noch darum, einiges über die letzten Ursachen der Stoffbewegung zu bemerken. Der anatomische Bau der Gewebe scheint in dieser Beziehung von untergeordneter Bedeutung zu sein, dagegen dürfte der Stoffverbrauch vor allen Dingen bestimmend auf die Wanderung des Bildungsmaterials in der Pflanze überhaupt und speciell auf die Richtung, welche die plastischen Substanzen im vegetabilischen Organismus einschlagen, einwirken. Wenn z. B. in den Blättern der Kartoffelpflanze Amylum gebildet worden ist, und dasselbe sich in einen Stoff umgewandelt hat, der osmotisch von Zelle zu Zelle translocirt werden kann, so wird sich, wenn die Stärkeablagerung in den Knollen erfolgt, ein Strom jenes Körpers, welcher die Fähigkeit besitzt, von Zelle zu Zelle zu wandern, in der Richtung von oben nach unten bewegen müssen [1]). Das osmotische Gleichgewicht in den Zellen der unteren Stengelpartie wird, indem der Bildungsstoff, den sie enthalten, in Folge der Stärkeablagerung verbraucht wird, fortdauernd gestört; diese Störung pflanzt sich von unten nach oben weiterschreitend fort, und bedingt die Bewegung der plastischen Stoffe. Ebenso wird die allmählich stattfindende Entleerung der Reservestoffbehälter durch das Wachsthum der Keimtheile verursacht.

Das Princip, auf welches die hier berührten Verhältnisse zurückzuführen sind, lässt sich durch die Ausführung eines einfachen Experiments demonstriren [2]).

Man bringe ein Zinkblech in eine Zelle, die aus Pergamentpapier hergestellt sein mag, und tauche die Zelle dann in eine Kupfervitriollösung. In diesem Falle, aber ebenso dann, wenn man noch weitere Zellen, die Kupfervitriollösung, indessen kein Zink enthalten, in die Flüssigkeit eintaucht, wird schliesslich alles Kupfer in metallischer Form in der mit Zinkblech beschickten Zelle niedergeschlagen werden. Indem sich das Kupfer abscheidet, wird Zinksulfat gebildet, und dasselbe muss sich allmählich durch Diffusion und Osmose in der Flüssigkeit innerhalb sowie ausserhalb der Zellen gleichmässig verbreiten.

---

1) Wir sehen hier gänzlich davon ab, dass bei der Wanderung des Amylum Glycose und kleinkörnige Stärke gebildet werden.

2) Man vgl. mit Bezug auf das Folgende Pfeffer's osmotische Untersuchungen S. 162 und eine Abhandlung des genannten Forschers in den landwirthschl. Jahrbüchern. B. 5, S. 116.

Das angeführte Experiment zeigt, wie ein Körper, der in einer Pflanzenzelle verbraucht wird, eben dieser Zelle von allen Seiten her zuströmen muss. Es ist nicht nothwendig, dass die Substanz in unlöslicher Form abgeschieden wird, denn man kann sich z. B. denken, dass sie in der Zelle in einen Zustand übergeht, in welchem sie zwar noch löslich ist, aber die Fähigkeit verloren hat, das Hyaloplasma zu passiren. Das angeführte Experiment scheint auch einiges Licht auf die merkwürdige Thatsache zu werfen, dass bestimmte plastische Stoffe vorwiegend in einer bestimmten Gewebeform translocirt werden, dass z. B. die Stärke besonders im Parenchym ausserhalb der Fibrovasalstränge wandert, während die Proteinstoffe sich zumal in Weichbastelementen fortbewegen. Denken wir uns, dass in den Parenchymzellen die Bildung der bekannten kleinen Stärkekörner aus Glycose oder einer andern Substanz mit besonderer Leichtigkeit erfolgt, während die Amylumregeneration in den Zellen der Gefässbündel auf Schwierigkeiten stösst, so wird die Translocation der genannten Kohlenhydrate namentlich in der erstern Gewebeform erfolgen müssen [1].

Zweites Capitel.

Die Translocation stickstofffreier Verbindungen in der Keimpflanze.

Wir weisen hier noch einmal mit Nachdruck auf die bereits geltend gemachten Gesichtspunkte hin, dass die Translocation plastischer Stoffe in der Keimpflanze vor allen Dingen auf osmotischem Wege erfolgt, und dass ferner ein Körper nur dann aus einer Zelle in das Innere einer anderen übertreten kann, wenn er im Stande ist, sowohl die Cellulosemembran als auch die Hautschicht des Plasma zu passiren.

Mit dem Gesagten scheint auf den ersten Blick die bereits an einem anderen Orte constatirte Thatsache durchaus in Widerspruch zu stehen, dass gewisse, zwischen den Reservestoffbehältern

---

1) Natürlich wird die Erscheinung, dass gewisse Zellen besonders diese, andere jene Stoffe führen, ebenfalls dadurch herbeigeführt oder unter anderem bedingt werden können, dass die Zellmembranen und das Hyaloplasma verschiedener Zellen den plastischen Stoffen gegenüber nicht dasselbe Verhalten zeigen. Ob aber thatsächlich derartige Verschiedenartigkeiten im Verhalten der Zellen existiren, ist fraglich, ja sogar sehr unwahrscheinlich.

der Keimpflanzen und den in lebhaftem Wachsthum begriffenen Regionen derselben vorhandene Parenchymzellen grössere oder geringere Quantitäten kleinkörniger Stärke führen.

Die Amylumkörner repräsentiren solide Gebilde; als solche sind sie nicht im Stande, die Zellhaut sowie das Hyaloplasma zu passiren, und sie können folglich nicht auf osmotischem Wege aus einer Zelle in eine andere übergehen. Wenn die Stärke in der Pflanze translocirt werden soll, so muss also auf jeden Fall aus derselben eine Substanz entstehen, die von Zelle zu Zelle wandern kann, und die überdies die Fähigkeit besitzt, sich leicht aufs Neue in Amylum umzuwandeln. Es bieten sich a priori in dieser Beziehung verschiedene Möglichkeiten dar.

I. Man kann sich vorstellen, dass die Amylumkörner in Lösung übergeführt werden, und dass diese Lösung nun die Fähigkeit besitzt, die Zellmembranen sowie die Hautschicht des Plasma zu passiren. Eine derartige Anschauungsweise hat aber für denjenigen gar keine Bedeutung, der weiss, dass eine Amylumlösung niemals in Pflanzenzellen vorkommt.

II. Ebenso kann das Amylodextrin, also eine Substanz, die löslich in Wasser ist und überdies zu der Stärke in naher Beziehung steht, nicht als ein Körper in Anspruch genommen werden, der Bedeutung für die Translocation der Stärke besitzt, denn das Amylodextrin kommt ebenfalls nicht in Pflanzenzellen vor.

III. Was die Bedeutung des Rohrzuckers, der Glycose und des Dextrins für die Amylumtranslocation anbetrifft, so lässt sich allerdings zeigen, dass diese so häufig in Pflanzenzellen vorkommenden Körper zwar im Stande sind, die Zellhäute zu passiren, aber es scheint bereits aus älteren Beobachtungen hervorzugehen, dass die genannten Körper nicht die Fähigkeit besitzen, die Hautschicht zu durchwandern. Ich habe mich specieller mit dem Verhalten der Glycose sowie des Dextrins der Zellhaut und dem Hyaloplasma gegenüber beschäftigt; indessen bevor ich zur Mittheilung der Ergebnisse meiner eigenen Untersuchungen übergehe, müssen diejenigen Beobachtungen kurz Erwähnung finden, die in derselben Richtung von anderen angestellt worden sind.

Bereits Nägeli[1]) hat beobachtet, dass der plasmatische Wandbeleg solcher Zellen, welche gefärbte Säfte enthalten, und die man in directe Berührung mit Wasser bringt, den Uebertritt des Farb-

1) Vergl. Nägeli: Pflanzenphysiol. Untersuchungen. I. S. 5. Citirt nach Hofmeister, Lehre von der Pflanzenzelle. 1867. S. 4.

stoffes in das Wasser verhindert. Wenn man ferner solche Zellen, die Farbstofflösungen enthalten, in Zuckerlösung bringt, so bewirkt das wasserentziehende Mittel lediglich einen Wasseraustritt aus dem Plasma, während die Färbung der Vacuolenflüssigkeit intensiver wird. Wird eine farblose Zelle in gefärbte Zuckerlösung gebracht, so macht sich eine Contraction des Plasma geltend; die gefärbte Flüssigkeit dringt in den Raum zwischen der Zellhaut und der Oberfläche des Plasma ein, aber dieses selbst bleibt ungefärbt [1]).

Bereits diese Angaben lassen keinen Zweifel darüber bestehen, dass die Zellhaut und das Hyaloplasma sich Farbstoffen gegenüber sehr verschiedenartig verhalten können. Vor allen Dingen ist z. B. das Resultat der zuletzt angeführten Beobachtung sehr instructiv. Gewisse Pflanzenfarbstoffe sind wohl im Stande, die Zellhaut zu passiren; sie besitzen aber nicht das Vermögen, in das Plasma einzudringen. Das Wasser hingegen vermag sowohl die Cellulosemembran als auch das Hyaloplasma zu durchwandern.

Hofmeister [2]) giebt an, dass durch Aufbrechen geöffnete frische Pfirsiche, Pflaumen und Orangen nach halbstündigem Verweilen in Wasser, demselben noch keinen süssen Geschmack ertheilt hatten [3]). Erst nach mehreren Stunden schmeckte das Wasser süss, und die mikroskopische Untersuchung zeigte dann den plasmatischen Inhalt der zuckerreichen Zellen stellenweise zerrissen.

H. de Vries [4]) hat, um die Durchlässigkeit des Plasma gewissen Salzen gegenüber zu prüfen, Schnitte aus rothen Rüben in Salzlösungen von geeigneter Concentration gebracht und nun auf die Contractionsänderungen des Plasma Acht gegeben. Die Resultate des genannten Forschers lassen darüber keinen Zweifel bestehen, dass das Plasma nur befähigt ist, geringe Mengen verschiedener Kali- sowie Magnesiasalze aufzunehmen [5]).

Pfeffer [6]) legte Schnitte aus rothen Rüben, nachdem die-

---

1) Man vergl. auch Pfeffer: Osmotische Untersuchungen. 1877. S. 134.

2) Vergl. Hofmeister, Pflanzenzelle. S. 4.

3) Damit ist allerdings noch nicht gesagt, dass gar kein Zucker in das Wasser übergegangen war.

4) Vergl. H. de Vries, Separatabdruck aus Archives Néerlandaises. T. 6. 1871.

5) Uebrigens ist zu bemerken, dass die von de Vries angewandte Methode zu ganz genauen Resultaten nicht führen kann.

6) Vergl. Pfeffer: Osmotische Untersuchungen. S. 158.

selben sorgfältig abgespült waren, in reines Wasser. Nach Verlauf von 6 Stunden wurden die Pflanzentheile aus der Flüssigkeit herausgenommen. Diese wurde aber auf ein kleines Volumen eingedampft, mit etwas Salzsäure aufgekocht und auf einen Zuckergehalt geprüft. In der Flüssigkeit liess sich kein Zucker nachweisen.

Pfeffer[1]) hat ferner Lupinenpflanzen derartig cultivirt, dass die Wurzeln derselben in Wasser eintauchten. Von der Glycose, welche in den Pflanzen vorhanden war, ging keine Spur in die Flüssigkeit über. Aehnliche Beobachtungen hat Boussingault[2]) gemacht.

Die vorstehenden Angaben lassen deutlich genug erkennen, dass das Verhalten der Hautschicht des Plasma gewissen Farbstoffen und anderen Körpern gegenüber ein höchst merkwürdiges ist. Uebrigens muss noch bemerkt werden, dass die erwähnten Erscheinungen sich lediglich geltend machen, wenn man es mit lebenden Zellen, deren Plasma durchaus unversehrt ist, zu thun hat. Getödtete Plasmamassen oder solche, deren Hautschicht in Folge sehr lebhafter Wasseraufnahme seitens des Plasma zerrissen ist, lassen Farbstoffe etc. leicht austreten und können dieselben ebenso ohne Schwierigkeit von aussen aufnehmen.

Was nun meine Beobachtungen über das Verhalten der Glycose und des Dextrins der Cellulosemembran der Zellen sowie dem Hyaloplasma gegenüber anbelangt, so will ich hier nur auf einige der vielen von mir zur Feststellung der in Rede stehenden Verhältnisse ausgeführten Experimente specieller eingehen[3]).

1. Wird eine Traubenzuckerlösung in einen Dialysator gebracht, so zeigt sich, dass der Zucker die Fähigkeit besitzt, eine vollkommen unversehrte Membran von vegetabilischem Pergament zu passiren. Daraus darf schon geschlossen werden, dass der Traubenzucker im Stande ist, in die Membranen pflanzlicher Zellen einzudringen; um aber alle Bedenken zu beseitigen, wurde noch das folgende Experiment angestellt.

2. a. 12 weisse Riesenerbsen quollen 12 Stunden lang in einer 3—4procentigen Traubenzuckerlösung. b. 12 weisse Riesenerbsen quollen 12 Stunden lang in destillirtem Wasser. Die Testa der Samen von a sowie von b wurde nun entfernt, und das Untersuchungsmaterial nach gründlichem Abspülen mit destillirtem Wasser in Berührung gebracht.

---

1) Vergl. Pfeffer: Landwirthschl. Jahrbücher. B. 5. S. 125.

2) Vergl. Boussingault, Annl. de chim. et de physique. 4. Ser. T. 29. p. 360.

3) Vergl. Detmer, Journal f. Landwirthsehaft. 1879. S. 381.

Hatten die Samen 5 Stunden lang in demselben verweilt, so wurde das Wasser auf einen Traubenzuckergehalt geprüft. Die Flüssigkeit, in der die Samen von a gequollen hatten, enthielt in der That Zucker; die Flüssigkeit aber, welche sich mit den Samen von b in Berührung befunden hatte, war frei davon [1]). Das Ergebniss der angeführten Experimente zeigt deutlich, dass Traubenzuckerlösungen im Stande sind, in vegetabilische Zellmembranen einzudringen, und dass diese die Fähigkeit besitzen, sich mit den Zuckerlösungen zu imbibiren.

3. Im Dunkeln erwachsene Mais- und Gerstenkeimlinge, sowie junge Erbsenpflanzen, die bei Lichtzutritt erwachsen waren, wurden im unversehrten Zustande oder nachdem sie zunächst verletzt und dann gründlichst abgespült worden waren, mit destillirtem Wasser in Berührung gebracht [2]). Die benutzten Untersuchungsobjecte enthielten sämmtlich reichliche Glycosemengen, aber dennoch zeigte sich, dass selbst nach Verlauf längerer Zeit keine Spur Zucker in das Wasser übergegangen war. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen lassen keinen Zweifel darüber bestehen, dass die Glycose nicht die Fähigkeit besitzt, das Hyaloplasma zu passiren [3]). Wäre sie dazu im Stande, so hätte sich die Gegenwart dieses Körpers nach Abschluss der Versuche in dem Wasser nachweisen lassen müssen.

4. Das Dextrin einer reinen wässerigen Dextrinlösung, und ebenso dasjenige, welches in wässerigen Samenauszügen vorhanden ist, besitzt die Fähigkeit, Membranen von vegetabilischem Pergament in *sehr geringen* Quantitäten zu passiren. Ob das Dextrin aber im Stande ist, die Zellmembranen der Pflanzenzellen zu durchwandern, erscheint mir sehr fraglich.

5. Von Erbsenkeimlingen, die sich im Dunkeln entwickelt hatten, wurden die Cotyledonen abgetrennt. Die in Stücke zer-

---

1) Ueber einige Vorsichtsmassregeln, die ich bei der Ausführung meiner Experimente nicht ausser Acht liess, vergl. meine citirte Abhandlung.

2) Von denjenigen Keimpflanzen, welche im verletzten Zustande zur Untersuchung benutzt werden sollten, wurden die Spitzen der Keimtheile abgeschnitten, oder es wurde das Endosperm, respect. die Cotyledonen halbirt.

3) Am beweiskräftigsten sind offenbar die Ergebnisse derjenigen Experimente, bei deren Ausführung verletzte Keimpflanzen benutzt wurden. Wendet man unversehrte Keimlinge an, wie dies bereits früher von verschiedenen Forschern geschehen, so liegt immer noch die Möglichkeit vor, dass die Cuticula den Austritt der Glycose aus den Keimlingen verhindert. Allerdings fehlt die Cuticula an den Vegetationspunkten der Wurzeln, aber es ist zu beachten, dass gerade die allerjüngsten Zellen der Pflanzen, wie allgemein bekannt ist, keine Glycose führen.

schnittenen Cotyledonen verweilten dann nach gründlichstem Abspülen mehrere Stunden lang unter Wasser. Nach Verlauf dieser Zeit war in der Flüssigkeit kein Dextrin nachzuweisen, während die Cotyledonen diesen Körper, wovon ich mich überzeugte, in reichlichen Quantitäten enthielten. Das Dextrin ist also nicht im Stande, als solches aus dem Innern der Zellen herauszutreten.

Meine Experimente lassen unzweifelhaft erkennen, dass weder die Glycose, noch das Dextrin die Fähigkeit besitzen, das Hyaloplasma auf rein osmotischem Wege zu passiren. Zugleich haben meine Beobachtungen aber auch ergeben, dass sowohl Glycose als auch Dextrin in den Keimpflanzen nicht unter Vermittelung von Druckkräften aus einer Zelle in eine benachbarte translocirt werden. Ich habe die zucker- und dextrinhaltigen Keimpflanzen oder einzelne Theile derselben nämlich häufig im verletzten Zustande längere Zeit unter Wasser belassen, und auf diese Weise die denkbar günstigsten Bedingungen für das Zustandekommen von Druckkräften geschaffen; aber dennoch gingen die Kohlehydrate nicht in die Flüssigkeit über. Ich schliesse deshalb, dass die im Innern der Zellen der untersuchten Keimpflanzen zur Geltung kommenden Spannungen nicht bedeutend genug sind, um eine Filtration von Glycose oder Dextrin aus einer Zelle in eine andere zu ermöglichen [1]).

Nach alledem müssen wir zu der Annahme gelangen, dass weder gelöste Stärke, Amylodextrin und Rohrzucker, noch Dextrin sowie Glycose als diejenigen Substanzen anzusehen sind, welche die Bewegung der Stärke aus einer Zelle der Keimpflanzen in eine andere vermitteln. Die Translocation des Amylum kann vielmehr nur dann erfolgen, wenn ein Körper entsteht, der nicht identisch mit den genannten ist. Ueber die Natur dieses Körpers sind wir zwar noch nicht unterrichtet; so viel ist aber doch gewiss, dass derselbe die Fähigkeit besitzen muss, die Cellulosemembran der Zellen sowie die Hautschicht des Plasma zu passiren, und dass er ferner im Stande sein muss, nach seinem Uebertritt

1) Ich will hier übrigens bemerken, dass aus manchen Pflanzenzellen thatsächlich Glycoselösungen herausfiltrirt werden können. Ich habe Derartiges z. B. in meiner zuletzt citirten Abhandlung für die Zellen saftiger Früchte nachgewiesen, und der Umstand, dass Erbsen während der ersten Keimungsstadien (Quellung) an das Wasser, mit dem sie sich in Berührung befinden, Glycose abgeben, steht vielleicht ebenso zu den hier in Rede stehenden Verhältnissen in Beziehung. Uebrigens ist zu bemerken, dass der von mir constatirten soeben erwähnten Thatsache eventuell anderweitige Ursachen zu Grunde liegen.

aus einer Zelle in eine andere, leicht aufs Neue in Amylum übergehen zu können.

Meine Untersuchungen über den Keimungsprocess der Samen haben mich zu der Ueberzeugung geführt, dass es nur dann möglich ist, zu einem tieferen Verständniss der mit der Entwickelung des Embryo Hand in Hand gehenden Stoffwechselprocesse zu gelangen, wenn man fortwährend im Auge behält, dass die vorhandenen Reservestoffe verschiedenartigen Processen anheimfallen können.

Die Lebensthätigkeit der Pflanzenzellen giebt sich zunächst dadurch kund, dass die Lebenseinheiten des Plasma einer Dissociation anheimfallen. Als Producte dieses Processes entstehen stickstoffhaltige sowie stickstofffreie Verbindungen. Die letzteren liefern unter normalen Verhältnissen, indem sie einem Decompositionsprocesse unterliegen, das Material zur Bildung von Kohlensäure, Wasser, sowie einer organischen Verbindung, welche die procentische Zusammensetzung des Methylaldehyds besitzt, und welche ferner im Stande sein muss, die Zellmembranen sowie das Hyaloplasma passiren zu können; sie strömt den wachsenden Theilen der Pflanze in Folge dessen von allen Seiten als solche zu, und kann für die Zwecke des Wachsthums verwendet werden.

Abgesehen von den erwähnten Processen machen sich in den Pflanzen fernerhin Vorgänge der Stoffmetamorphose geltend. Bei der Keimung amylumreicher Samen geht die Stärke in jene Substanz unbekannter Natur über, welche für die Translocation des genannten Kohlehydrats von so grosser Bedeutung erscheint. Diese Substanz verbreitet sich von den Reservestoffbehältern aus durch den gesammten Organismus, und sowohl bei ihrer Entstehung als auch dann, wenn transitorisch Amylumkörner gebildet werden, können Glycose, Dextrin oder sogen. unbestimmte Stoffe als intermediäre Producte auftreten [1]). Die stickstofffreien Verbindungen, speciell die Glycose, welche auf die angegebene Weise in sämmtliche Zellen der Pflanze gelangen können, associiren sich mit den stickstoffhaltigen Zersetzungsproducten der Lebenseinheiten des Plasma;

1) Es scheint mir von Wichtigkeit zu sein, noch zu betonen, dass die bei der Metamorphose des Amylum entstehende Substanz unbekannter Natur, welche die Translocation der Stärke vermittelt, von anderer Natur als derjenige Körper sein muss, welcher in Folge der Decompositionsprocesse bei der Keimung gebildet wird. Dieser letztere Stoff findet für die Zwecke des Wachsthums Verwendung, jener erstere aber nicht, und diesem verschiedenartigen Verhalten der beiden Körper muss eine verschiedenartige chemische Natur zu Grunde liegen.

die Proteinstoffregeneration wird auf diesem Wege vollzogen, und das Spiel der chemischen Processe in den Pflanzenzellen kann nun aufs Neue beginnen. Wenn gerade in denjenigen Pflanzenzellen, in denen offenbar die Dissociation und Regeneration der Lebenseinheiten des Plasma am lebhaftesten erfolgt, nämlich in den Zellen der Vegetationspunkte der Pflanzen, keine Glycose nachzuweisen ist, so beweist dies durchaus nicht, wie bereits an anderer Stelle bemerkt, dass unserer Anschauung von der Bedeutung der Glycose für die Proteinstoffregeneration ein Irrthum zu Grunde liegt. Der Zucker wird in den genannten Zellen in so grossen Quantitäten verbraucht, dass er sich nicht in denselben anhäuft und in Folge dessen nicht nachgewiesen werden kann [1]).

Für die Beurtheilung derjenigen Processe, welche sich bei der Translocation plastischer Stoffe in der Pflanze und speciell in den Keimpflanzen fettreicher Samen geltend machen, ist es von Wichtigkeit, über das Verhalten der Fette bei der Stoffwanderung orientirt zu sein. Diese Verhältnisse sind um so bedeutungsvoller, als die Fette ja Reservestoffe repräsentiren, die bei der Entwickelung des Embryo häufig eine hervorragende Rolle spielen.

Zunächst handelt es sich um die Frage, ob die Fette als solche auf irgend eine Weise von Zelle zu Zelle translocirt werden können. Sachs [2]) hat diese Frage im bejahenden Sinne beantwortet. Er beobachtete nämlich, dass die Zellen der Cotyledonen der Keimpflanzen von Ricinus nach vollendeter Keimung ziemlich viel Fett enthielten. Dieses Fett betrachtet Sachs, da die Quantität desselben eben nicht unerheblich war, nicht als Rest des in dem Embryo ursprünglich vorhanden gewesenen, sondern er glaubt, dass es den Cotyledonen aus dem Endosperm zugeführt worden sei. Und in der That scheinen die Resultate einiger Beobachtungen darauf hinzudeuten, dass der Process der Translocation des

---

1) Ich will hier noch bemerken, dass nach meinem Dafürhalten das Verhalten der Kohlehydrate in den entwickelteren Pflanzen entschieden in hohem Grade mit dem Verhalten derselben Stoffe in den Keimpflanzen übereinstimmt. Selbstverständlich besteht in sofern ein wesentlicher Unterschied, als die ersteren das zur Zellstoffbildung erforderliche Material durch Assimilation erzeugen, während dasselbe in den Reservestoffbehältern der Keimpflanze aufgespeichert ist. Aber in allen Fällen führen doch Processe der Stoffmetamorphose eine Translocation desjenigen plastischen Materials im Organismus herbei, welche für die Proteinstoffregeneration eine so grosse Bedeutung besitzt, und durch Decompositionsprocesse können erst die für das Wachsthum geeigneten Substanzen entstehen.

2) Vgl. Sachs, Pringsheim's Jahrbücher. B. 3, S. 251.

Fettes im vegetabilischen Organismus wirklich derartig erfolgen kann, wie Sachs dies voraussetzt. Gerathen mit Wasser imbibirte Gebilde mit Fetten in Contact, so nehmen sie dieselben langsam auf. Ebenso nehmen mit Fett imprägnirte Gebilde langsam Wasser auf. Wenn Körper, die nicht vollständig mit einem Stoff (z. B. mit Wasser) imbibirt sind, in Contact mit einem anderen Stoff (z. B. mit Fett) gelangen, so vermögen sie diesen letzteren aufzunehmen [1]) [2]).

Danach ist es also wohl denkbar, dass das Fett die Fähigkeit besitzt, in die Cellulosemembranen der Pflanzenzellen in geringen Quantitäten einzudringen. Eine andere Frage ist es aber, ob das Fett im Stande ist, das Hyaloplasma zu passiren. Diese Frage ist zwar noch nicht auf experimentellem Wege gelöst worden, aber wenn man bedenkt, dass selbst die Glycose nicht im Stande ist, die Hautschicht des Plasma zu passiren, so darf man wohl behaupten, dass das Fett dies noch viel weniger vermag. Ebenso ist es unter Berücksichtigung des bereits Angeführten sehr fraglich, ob das Fett unter Vermittelung von Druckkräften aus einer Zelle in eine andere translocirt werden kann, und ich glaube nach alledem annehmen zu dürfen, dass das Fett nicht als solches in der Pflanze wandert.

Wie soll man nun aber die Beobachtung von Sachs, dass die Cotyledonen von Ricinus nach vollendeter Keimung ziemlich viel Fett enthalten, erklären? Wie können wir uns ferner mit der hier noch zu erwähnenden, von Peters [3]) constatirten Thatsache abfinden, dass der Fettgehalt der Wurzeln der Keimpflanzen des Kürbis bei fortschreitender Evolution stets beträchtlicher wird?

Es liegt von vornherein die Möglichkeit vor, dass das Fett sich bei der Translocation, indem dasselbe Processen der Stoffmetamorphose anheimfällt, dem Amylum ähnlich verhält, d. h. zunächst in einen Körper übergeht, der nicht mehr die Natur des Fettes besitzt und im Stande ist, die Zellmembranen sowie das Hyaloplasma leicht zu passiren. Nach erfolgter Translocation könnte dann der Stoff, welcher die Wanderung des Fettes vermittelt, aufs Neue zu Fett regenerirt werden. Näher liegt es allerdings, eine andere Erklärung für die erwähnten Thatsachen zu geben.

1) Den Fetten analog verhalten sich in der hier in Rede stehenden Beziehung die ätherischen Oele.

2) Vgl. über die hier berührten Verhältnisse Hofmeister, Lehre von der Pflanzenzelle. 1867. S. 226.

3) Vgl. Peters Versuchsstationen. B. 7, S. 1.

Es ist nämlich bekannt, dass bei der Bildung fettreicher Samen Kohlehydrate zur Erzeugung des als Reservestoff sich ablagernden Oeles dienen. Ein derartiger Process, der mit innerer Athmung verbunden sein muss, kann sich ebenso in den Organen der Keimpflanze geltend machen, indem sauerstoffreiche Verbindungen, die wahrscheinlich zum Theil selbst als Oxydationsproducte von Fetten anzusehen sind, unter Kohlensäureabgabe in Fette übergehen.

Für die Function der Fette als stickstofffreie Reservestoffe haben aber die soeben geltend gemachten Verhältnisse nur eine untergeordnete Bedeutung, denn unsere Anschauungen über die Stoffwechselprocesse im Allgemeinen, sowie die directen Beobachtungen über das Verhalten der Fette bei der Keimung der Samen führen zu der Schlussfolgerung, dass das Fett keineswegs als solches zur Zellstoffbildung oder zur Regeneration der Lebenseinheiten des Plasma Verwendung findet.

Die Glyceride erfahren zunächst in den Zellen, in denen sie abgelagert sind, wahrscheinlich unter Vermittelung eines Ferments, eine Dissociation in Glycerin und freie Fettsäuren. Das Glycerin scheint dann in unbestimmte Stoffe überzugehen, während die Gesammtmenge der vorhandenen Fettsäuren unter Sauerstoffaufnahme zu Kohlehydraten oxydirt wird. Dies Verhältniss findet seinen unmittelbaren Ausdruck darin, dass bei der Keimung fettreicher Samen in dem Masse, als das Oel verschwindet, Amylum und Glycose auftreten. Wenn sich diese Körper, oder anderweitige Substanzen, die chemisch nahe mit ihnen verwandt sind, aber die Fähigkeit besitzen, die Zellhaut sowie das Hyaloplasma zu passiren, gebildet haben, so verlaufen die ferneren Processe bei der Keimung fettreicher Samen in ganz analoger Weise wie diejenigen, welche sich bei der Keimung stärkereicher Samen geltend machen. Die stickstofffreien Stoffe verbreiten sich in dem jugendlichen Organismus, und das vorhandene Material kann nach Bedürfniss zur Regeneration der Lebenseinheiten des Plasma verbraucht werden.

Drittes Capitel.

Die Translocation stickstoffhaltiger Verbindungen in der Keimpflanze.

Wir sind a priori berechtigt, die Ansicht zu hegen, die allerdings eingehender auf ihre Stichhaltigkeit zu prüfen ist, dass die

Eiweissstoffe als solche von Zelle zu Zelle translocirt werden können. Allerdings ist es von vornherein klar, dass die Proteinkörner der Samen als solche dieser Translocation ebenso wenig wie die Amylumkörner unterliegen. Vielmehr ist die Möglichkeit der Bewegung von Eiweissstoffen aus einer in eine andere Pflanzenzelle nur dann gegeben, wenn die stickstoffhaltigen Verbindungen in Lösung übergegangen sind.

Für die Darstellung in diesem Capitel ist es daher von Wichtigkeit, zu bemerken, dass die Lebenseinheiten des Plasma gewiss nicht als solche translocirt werden können; dagegen liefern dieselben in Folge ihrer Dissociation gewisse Stickstoffverbindungen (Säureamide und Amidosäuren), die eine grosse Bedeutung für die Vorgänge der Stoffwanderung im vegetabilischen Organismus besitzen. Eiweissstoffe als solche können nur aus einer Zelle in eine andere übergehen, wenn sie in Lösung vorhanden sind, und gelöste Proteinstoffe sind unzweifelhaft in der Vacuolenflüssigkeit oder in der vom Plasma imbibirten Flüssigkeit vorhanden. Diese aufgelösten Eiweisssubstanzen liefern gewiss auch das Material zur Peptonbildung, wenn dieselbe stattfindet.

Wir finden in den Samen verschiedene in Wasser lösliche Proteinstoffe vor; die Hauptmasse der Sameneiweisskörper ist aber unlöslich oder schwer löslich in Wasser, kann allerdings unter Vermittelung anderer Substanzen vom Wasser aufgelöst werden. Auf alle Fälle ist es zur Beurtheilung der sich bei der Translocation stickstoffhaltiger Verbindungen in der Pflanze geltend machenden Verhältnisse durchaus nothwendig, eingehender über das Verhalten der Proteinstoffe zu Lösungsmitteln orientirt zu sein. Vor allen Dingen müssen diejenigen Eiweissverbindungen unser Interesse fesseln, welche, an sich in Wasser unlöslich, von diesem unter Vermittelung anderer Körper aufgenommen werden, und ich habe mich selbst gründlicher mit bezüglichen Untersuchungen beschäftigt, indem ich zumal das Conglutin zu meinem Beobachtungsobjecte wählte [1] [2].

---

1) Ich bin überzeugt, dass dasjenige, was hier über das Conglutin mitgetheilt wird, ebenfalls für manche andere Eiweissstoffe volle Gültigkeit hat.

2) Den folgenden Darstellungen ist namentlich dasjenige zu Grunde gelegt, was ich in einer Abhandlung über den Keimungsprocess in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik (B. 2, H. 3) ausgesprochen habe.

Zur Reindarstellung des Conglutins habe ich das Verfahren in Anwendung gebracht, welches von Ritthausen empfohlen worden ist. Die auf einer kleinen Handmühle zermahlenen Samen von Lupinus luteus wurden mit Wasser angerührt und der Mischung des Samenpulvers und Wassers so lange Kalilauge zugesetzt, bis die Flüssigkeit eine bleibend alkalische Reaction angenommen hatte. Mit Hülfe eines Haarsiebes wurde die gewonnene Lösung nunmehr von den Samenmassen getrennt. Die trübe Flüssigkeit wurde filtrirt, und dem Filtrate zur Abscheidung des Conglutins Essigsäure zugesetzt. Das Conglutin ist durch wiederholtes Auflösen in Kaliwasser, Ausfällen mittelst Essigsäure und Auswaschen mit Wasser, Alkohol und Aether gereinigt worden und stellte im möglichst reinen und wasserhaltigen Zustande eine fast weisse Substanz dar.

Für mich handelt es sich zunächst darum, die Löslichkeit des Conglutins in destillirtem Wasser zu untersuchen. Da sich leicht constatiren lässt, dass die getrocknete oder mit Alkohol und Aether behandelte Substanz weit schwieriger als die lediglich mit Wasser ausgewaschene von Lösungsmitteln, selbst von Kaliwasser, aufgenommen wird, so habe ich besonders Sorge dafür getragen, dass das Conglutin beim letzten Auswaschen stets sehr feucht erhalten blieb, und ferner wandte ich nach dem letzten Ausfällen des Proteinstoffs aus alkalischer Lösung nur Wasser zum Auswaschen an.

Zur Prüfung des Verhaltens des reinen Conglutins dem destillirten Wasser gegenüber wurde der Proteinstoff auf dem Filter, auf welchem er zuletzt ausgewaschen worden war, mit Wasser übergossen, über das untere Ende des Trichterrohres ein Kautschukschlauch gezogen, und dieser mit Hülfe eines Quetschhahnes verschlossen. Der mit einer Glasplatte bedeckte Apparat blieb jetzt 24 Stunden lang ruhig stehen. Nach Verlauf dieser Zeit wurde der Quetschhahn entfernt, und das klare Filtrat auf einen etwaigen Proteinstoffgehalt geprüft [1]).

Ritthausen und nach ihm andere Schriftsteller geben an, dass reines Wasser im Stande sei, geringe Conglutinmengen aufzulösen. Ich muss diese Angabe bestreiten, denn ich habe mich mit voller Bestimmtheit davon überzeugen können, dass sehr gründlich gereinigtes Conglutin auch nicht in Spuren von destillirtem Wasser aufgenommen wird.

1) Die auf einen Proteinstoffgehalt zu prüfende Flüssigkeit wurde mit wenig Kalilauge und einem oder einigen Tropfen Fehlingscher Lösung versetzt. Bei Gegenwart der geringsten Spuren von Proteinstoffen tritt eine Violettfärbung der Flüssigkeit ein.

Ferner habe ich, von gewissen allgemeinen Gesichtspunkten ausgehend, das Verhalten des Conglutins zu verschiedenen Säuren und Salzlösungen geprüft, und bin dabei zu folgenden Ergebnissen gelangt:

Sehr leicht und vollkommen löst sich das Conglutin auf in Phosphorsäure, Essigsäure, in Lösungen von Oxalsäure, Citronensäure, phosphorsaurem Natron (Na_2HPO_4), citronensaurem Kali ($C_6H_5K_3O_7$) und übersaurem oxalsaurem Kali ($C_2HKO_4 . C_2H_2O_4$).

Nur in äusserst geringen Spuren wird das Conglutin aufgelöst von saurem oxalsaurem Kali (C_2HKO_4).

Ganz unlöslich ist das Conglutin in den Lösungen des sauren phosphorsauren Kalis (KH_2PO_4) und des sauersten Kalisalzes der Citronensäure ($C_6H_7KO_7$).

Trotzdem das Wasser nicht im Stande ist, Conglutin aufzulösen, steht fest, dass viele Samen im zerkleinerten Zustande Proteinstoffe aus der Gruppe der Pflanzencaseine und zerkleinerte Lupinen speciell Conglutin an Wasser abgeben. Damit im Zusammenhange steht die von Pfeffer[1]) constatirte Thatsache, dass die Proteinkörner vieler Samen theilweise oder gar vollkommen von Wasser aufgelöst werden können. Ritthausen[2]) ist der Ansicht, dass die Löslichkeit der Proteinstoffe der Samen in Wasser durch Kali und basisch-phosphorsaures Kali bedingt werde. Dies ist indessen ganz sicher in vielen Fällen nicht möglich, denn die wässerigen Extracte vieler Samen zeigen eine intensiv saure Reaction[3]). Wenn nun auch feststeht, dass diese saure Reaction zuweilen durch die Gegenwart von Pflanzensäuren oder sauren Salzen derselben bedingt wird[4]), so ist doch zu betonen, dass diese Körper den sauren Charakter wässeriger Samenextracte nicht allein herbeiführen können. Wir kommen später auf dies Verhältniss zurück; hier sei nur bemerkt, dass, wie wir weiter unten deutlicher erkennen werden, die in wässerigen Samenauszügen bekanntlich reichlich vorhandenen Kali- und Phosphorsäuremengen, vor allen Dingen in Beziehung zu der Löslichkeit der Proteinstoffe

---

1) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschl. Botanik. B. 8. S. 432.

2) Vgl. Ritthausen: Die Eiweisskörper. S. 207.

3) Als ich wässerige Extracte von Erbsen und Lupinen auf ihre Reaction prüfte, zeigte sich, dass der Lupinenauszug viel intensiver sauer als der Erbsenextract reagirte.

4) Man vgl. namentlich Beyer (Versuchsstationen, B. 9, S. 186 und B. 14, S. 161) sowie Ritthausen (Eiweisskörper, S. 195).

aus der Gruppe der Pflanzencaseine stehen [1]), und somit erwächst zunächst für uns die Aufgabe, das Verhalten der genannten Eiweisskörper zu Kali- sowie zu Phosphorsäureverbindungen einer genaueren Prüfung zu unterziehen.

Das Verhalten animalischer Proteinstoffe zu Kali- sowie zu Phosphorsäureverbindungen ist bereits mehrfach studirt worden [2]). Allerdings darf vorausgesetzt werden, dass pflanzliche Eiweissstoffe sich Lösungsmitteln gegenüber ähnlich wie thierische Proteinkörper verhalten werden; nichts desto weniger erschien es mir durchaus geboten, dem Gegenstand meine specielle Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Wenn man eine Lösung von Conglutin in Kaliwasser mit so viel freier Säure versetzt, dass die Flüssigkeit eine schwach saure Reaction angenommen hat, und der Proteinstoff zur Ausfällung gelangt ist, so löst sich derselbe auf Zusatz einer Lösung von Hydrodinatriumphosphat (Na_2HPO_4) wieder vollkommen auf, aber die Lösung reagirt — wenn man einen Ueberschuss von phosphorsaurem Natron vermieden hat — noch sauer [3]).

Sauer reagirende Flüssigkeiten können also Conglutin in Lösung enthalten; während der Proteinstoff aber in solchen Flüssigkeiten, die grössere Quantitäten freier Essig- oder Phosphorsäure enthalten, als solcher vorhanden ist, treffen wir ihn in der zuletzt erwähnten Lösung in Verbindung mit Natrium an. Das Hydrodinatriumphosphat, welches mit dem ausgefällten Conglutin in Berührung gelangt, giebt, so müssen wir den hier in Rede stehenden Process deuten, Natrium an den Proteinstoff ab; derselbe kann sich jetzt auflösen, während das Hydrodinatriumphosphat selbst in ein saures Salz übergeht.

Mit den hier berührten Verhältnissen steht die Thatsache in innigster Beziehung, dass eine Auflösung von Conglutin in Kaliwasser durch Säurezusatz bei Gegenwart von Hydrodinatriumphosphat weit später als bei Abwesenheit desselben gefällt wird.

Bestimmte Mengen von Conglutinlösung wurden entweder nicht mit Hydrodinatriumphosphat versetzt, oder ihnen wurden bekannte Quantitäten der wässerigen Lösung dieses Salzes hinzugefügt. Nun

---

1) Allerdings nicht im Sinne Ritthausens.

2) Man vgl. namentlich Rollett (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien, B. 39, S. 547) und Soxhlet (Beiträge zur physiol. Chem. d. Milch, Leipzig, 1872).

3) Die Lösung der dem Hydrodinatriumphosphat entsprechende Kaliverbindung verhält sich dem Conglutin gegenüber, wie ich fand, genau so wie diejenige des Natronsalzes.

liess ich aus einer Bürette so lange verdünnte Säure zu der Flüssigkeit treten, bis die Fällung des Conglutins erfolgte. Ich will hier nur die Resultate zweier von mir ausgeführten Versuchsreihen mittheilen:

	Menge der benutzten Conglutinlösung in Cc.	Menge der benutzten Phosphatlösung in Cc.	Verbrauchte Säuremenge.
		Erste Versuchsreihe.	
I.	40	—	10.6 Cc. Essigsäure.
II.	40	6	15.1 „ „
III.	40	12	19.5 „ „
		Zweite Versuchsreihe.	
I.	20	—	13.5 Cc. Salpetersäure.
II.	20	20	21.8 „ „

Bei Gegenwart des Phosphats bedarf man also grösserer Säuremengen zur Fällung des Conglutins als bei Abwesenheit desselben. Es ist ferner mit besonderem Nachdruck darauf hinzuweisen, dass die phosphorsaures Natron enthaltenden Flüssigkeiten auf Säurezusatz bereits sauer reagirten, wenn die Fällung des Eiweisskörpers noch lange nicht eingetreten war. Ich erwähne z. B., dass die Flüssigkeit, mit welcher der zweite Versuch der zweiten Versuchsreihe ausgeführt wurde, bereits eine intensiv saure Reaction zeigte, als 15 Cc. Salpetersäure zugesetzt worden waren, während die Fällung des Conglutins erst nach Zusatz von 21.8 Cc. Säure erfolgte. Die saure Reaction der Flüssigkeit macht sich aber geltend, wenn das ursprünglich vorhandene freie Alkali durch Säurezusatz neutralisirt ist. Dann wird in Folge weiteren Säurezusatzes immer mehr Hydrodinatriumphosphat in Dihydronatriumphosphat verwandelt, und wenn das Verhältniss zwischen dem sogenannten gewöhnlichen und dem sauren Phosphat ein zu weites geworden ist, so erfolgt die Fällung des vorhandenen Proteinstoffes [1]).

Das Hydrodinatriumphosphat vermittelt also die Löslichkeit des Conglutins in saurer Lösung. Fragt man sich, in welcher Weise das Phosphat dabei wirkt, so liegt einmal die Möglichkeit vor, dass dasselbe als solches den Proteinstoff aufzulösen vermag; andrerseits kann das Hydrodinatriumphosphat aber auch Natrium, welches sich chemisch mit dem Conglutin zu einer leicht löslichen Verbindung vereinigt, abgeben, und sich selbst in Dihydronatrium-

---

1) Der hier berührte interessante Process gehört in die Kategorie der limitirten Reactionen. Man vgl. darüber die citirte Abhandlung Soxhlets.

phosphat verwandeln. Ich gehe nicht näher auf diese Verhältnisse ein, sondern bemerke nur, dass das Hydrodinatriumphosphat die Auflösung des Conglutins, wovon ich mich mit Bestimmtheit überzeugen konnte, in der zuletzt angedeuteten Weise vermittelt.

Ohne Zweifel hat die Frage Berechtigung, ob in den Samen, abgesehen von den Phosphaten, nicht noch anderweitige Verbindungen vorkommen, welche die Löslichkeit der Proteinstoffe aus der Gruppe der Pflanzencaseine vermitteln können. Wir haben bereits in einem andern Hauptabschnitte darauf hingewiesen, dass z. B. Lupinensamen Aepfel-, Oxal- und Citronensäure enthalten. Die beiden ersteren Körper sind nur in geringen, der letztere ist aber in beträchtlicheren Quantitäten in den Lupinensamen vorhanden. Das Verhalten der genannten Säuren und ihrer Salze dem Conglutin gegenüber ist noch nicht studirt worden, und ich suchte deshalb die vorhandene Lücke durch die Ausführung verschiedener Experimente auszufüllen.

Lösungen von Conglutin in Kaliwasser wurden entweder ohne oder nach erfolgtem Zusatz der neutralen Kalisalze der Oxal- oder Citronensäure so lange mit verdünnten Oxalsäure- oder Citronensäurelösungen versetzt, bis die Fällung des Proteinstoffs erfolgte. Einige Beobachtungen lieferten die folgenden Resultate:

	Menge der benutzten Conglutinlösung in Cc.	Menge der benutzten Salzlösung in Cc.	Verbrauchte Säuremenge in Cc.
		Versuchsreihe mit Oxalsäure.	
I.	10	—	7.5
II.	10	10	7.6
III.	10	10	7.5
		Versuchsreihe mit Citronensäure.	
I.	10	—	6.5
II.	10	5	15.0
III.	10	10	23.0

Die Oxalsäure verhielt sich der Conglutinlösung gegenüber genau so wie z. B. Salpeter- oder Schwefelsäure. Das Conglutin ist nicht im Stande, das neutrale Kalisalz der Oxalsäure zu zersetzen und wird deshalb, mag die zuletzt genannte Substanz vorhanden sein oder fehlen, aus saurer Lösung stets durch die nämliche Oxalsäurequantität gefällt. Dagegen lassen die vorstehenden Zahlen deutlich erkennen, dass sich das neutrale citronensaure Kali einer Conglutinlösung gegenüber in ganz derselben Weise wie sogenanntes neutrales Alkaliphosphat verhält.

Versuchen wir es nun, uns auf Grund der Resultate, zu de-

nen uns die mitgetheilten Untersuchungen geführt haben, eine Vorstellung über die Ursachen zu bilden, welche die Erscheinung herbeiführen, dass das Wasser im Stande ist, zerkleinerten Samenmassen Proteinstoffe aus der Gruppe der Pflanzencaseine zu entziehen, so muss namentlich betont werden, dass jener Erscheinung nicht in allen Fällen dieselben Ursachen zu Grunde liegen. Die Schlussfolgerungen, welche die Resultate meiner Untersuchungen zulassen, habe ich bereits früher wie folgt zusammengefasst[1]):

„1. Das Wasser allein kann die Löslichkeit der in Rede stehenden Proteinstoffe nicht bedingen, denn wir haben z. B. nachgewiesen, dass das Conglutin aus gelben Lupinen absolut unlöslich in Wasser ist[2]).

2. Ritthausen ist der Meinung, dass die Proteinstoffe unter Vermittelung basisch-phosphorsaurer Alkalien in Lösung gebracht werden. Soweit mir bekannt, reagiren die wässerigen Samenextracte aber stets schwächer oder stärker sauer, und in sauren Flüssigkeiten können die basisch-phosphorsauren Alkalien (M_3PO_4) nicht existiren, also die Löslichkeit der Proteinstoffe auch nicht vermitteln.

3. Ebenso vermögen die sauren phosphorsauren Alkalien (MH_2PO_4) die Löslichkeit der Proteinstoffe nicht herbeizuführen, denn wir haben z. B. gezeigt, dass das reine Conglutin unlöslich in saurem phosphorsaurem Alkali ist, und dass das Conglutin aus seiner fast neutral reagirenden Lösung in Kaliwasser auf Zusatz einer Lösung von saurem phosphorsaurem Kali ausgefällt wird.

4. Die Verbindungen der Oxalsäure mit Kali ($C_2K_2O_4$ und C_2KHO_4) können, wie aus unseren Untersuchungen hervorgeht, das Conglutin etc. ebenfalls nicht in Lösung überführen.

5. Sind Pflanzensäuren im freien Zustande in Samen vorhanden, so können diese die Löslichkeit der Proteinstoffe vermitteln, denn das Conglutin wird z. B., wie gezeigt worden ist, sehr leicht von Oxal- und Citronensäure aufgenommen. Unter Umständen scheinen in der That Pflanzensäuren im freien Zustande in Samen vorzukommen. Beyer[3]) extrahirte nämlich Samen der gelben

---

1) Vgl. Wollny's Forschungen, B. II. H. 3.

2) Das Wasser allein kann auch nicht die grossen Leguminmengen, welche z. B. manche Erbsensorten an dasselbe abzugeben vermögen, in Lösung bringen, denn das Wasser löst nach Ritthausen's Untersuchungen höchstens Spuren des genannten Proteinstoffs auf. Das Legumin wird vielmehr unter Vermittelung ganz derselben Substanzen, welche die Löslichkeit des Conglutins bedingen, in Lösung gebracht werden.

3) Vergl. Beyer, Versuchsstationen. B. 14. S. 162.

Lupine mit Alkohol, dampfte die Lösung ein und nahm den Rückstand mit Wasser auf. In der gewonnenen Flüssigkeit waren beträchtliche Citronensäurequantitäten vorhanden. Die citronensauren Salze (ebenso die oxalsauren Salze), welche in Samen vorkommen können, sind nun nachgewiesenermassen sämmtlich in Alkohol unlöslich oder äusserst schwer löslich, und deshalb musste die Citronensäure, welche Beyer in der Lösung fand — falls er nicht sehr wasserreichen Alkohol zur Extraction in Anwendung brachte — in ungebundenem Zustande in den Samen vorhanden gewesen sein [1]). Unter Umständen enthalten aber gelbe Lupinen sicher keine freie Citronensäure. Ich habe Pulver der Samen von Lupinus luteus mit kaltem Alkohol tagelang extrahirt. Die Flüssigkeit wurde dann auf dem Wasserbade eingedunstet, und der Rückstand mit Wasser behandelt. Die Lösung zeigte keine saure Reaction, was der Fall gewesen sein müsste, wenn die Samen freie Säuren enthalten hätten. Die Samenrückstände wurden nun mit Wasser behandelt, und ich konnte in der stark sauer reagirenden Lösung das Vorhandensein von Conglutin constatiren.

6. Samen, die Pflanzensäuren weder im freien Zustande, noch in Verbindung mit Basen enthalten (Erbsen etc.), können, soweit wir heute unterrichtet sind, nur deshalb Proteinstoffe aus der Gruppe der Pflanzencaseine an Wasser abgeben, weil sie reich an Kali und Phosphorsäure sind.

7. Samen der soeben erwähnten Kategorie liefern in Berührung mit Wasser eine sauer reagirende Flüssigkeit, weil sie saure phosphorsaure Alkalisalze (MH_2PO_4) enthalten. Proteinstoffe aus der Gruppe der Pflanzencaseine sind in der Lösung vorhanden, weil sich in den Samen neben den sauren auch sogen. neutrale Alkaliphosphate (M_2HPO_4) vorfinden. Die Proteinstoffe entziehen diesen letzteren Körpern das zu ihrer Auflösung erforderliche Alkali, und die entstandene Alkaliverbindung kann, wie wir gesehen haben, in sauer reagirenden Flüssigkeiten existiren.

8. Samen, welche citronensaure Alkalisalze enthalten, können ferner deshalb Proteinstoffe an Wasser abgeben, weil sich die stickstoffhaltigen organischen Verbindungen den citronensauren Alkalisalzen gegenüber, wie gezeigt worden ist, genau so wie zu phosphorsauren Alkalien verhalten. Uebrigens ist zu bemerken, dass diese letzteren Körper bei Gegenwart der genannten pflanzensauren Salze ebenfalls nicht ohne Bedeutung für die Löslichkeitsverhältnisse der Proteinstoffe sein werden.

1) Freie Oxalsäure und Citronensäure sind bekanntlich in Alkohol löslich.

9. Das übersaure Kalisalz der Oxalsäure (C_2HKO_4, $C_2H_2O_4$) ist ebenfalls, wie gezeigt wurde, im Stande, Conglutin aufzulösen; indessen werden wir dieser Thatsache an dieser Stelle schon deshalb keine besondere Bedeutung beizumessen haben, weil die Oxalsäure, soweit bekannt ist, in den Samen nicht in Verbindung mit Alkalimetallen, sondern in Verbindung mit Kalk angetroffen wird."

Ein sehr wichtiges Resultat der im Vorstehenden zur Kenntniss gebrachten Untersuchungen ist offenbar dies, dass Proteinstoffe, die an sich unlöslich oder schwer löslich in Wasser sind, durch Vermittelung verschiedener Substanzen löslich in Wasser werden. Zu demselben Ergebnisse ist man aber noch auf einem anderen Wege gelangt.

Pfeffer[1]) hat bekanntlich das Verhalten der Proteinkörner dem Wasser gegenüber eingehend studirt und gefunden, dass diese eigenthümlichen Gebilde vieler Samen leicht von der Flüssigkeit aufgelöst werden, während die Proteinkörner anderer Samen schwer löslich oder gar unlöslich in Wasser sind. Pfeffer ging bei der Ausführung seiner Untersuchungen von der Voraussetzung aus, dass die Löslichkeit der Proteinkörner durch die Gegenwart von phosphorsaurem Alkali vermittelt werde. Er behandelte Samenschnitte mit Alkohol, dem wenig concentrirte Schwefelsäure zugesetzt worden war. Die Schwefelsäure musste das vorhandene Alkaliphosphat zerlegen. Es mussten in Alkohol unlösliches schwefelsaures Alkali und andererseits in Alkohol lösliche Phosphorsäure entstehen. Wurden die Samenschnitte jetzt zur völligen Extraction der Phosphorsäure und der noch vorhandenen Schwefelsäure mit Alkohol behandelt und schliesslich mit reinem Wasser in Berührung gebracht, so zeigte sich in der That, dass die Proteinkörner ihre Löslichkeit in dieser Flüssigkeit eingebüsst hatten. Eine Spur von Kali, die dem Wasser hinzugefügt wurde, genügte aber, um die Proteinkörner aufzulösen[2]). Die Resultate der Untersuchungen Pfeffer's sind unter Berücksichtigung der Ergebnisse der von mir ausgeführten Beobachtungen leicht verständlich.

Fragen wir uns, weshalb denn die Proteinkörner mancher Samen schwer löslich oder gar unlöslich in Wasser sind, so ist zumal zu bedenken, dass die Abwesenheit von Kali und Phosphor-

---

1) Vgl. Pfeffer, Pringsheim's Jahrbücher. B. 8. S. 491.

2) Die Hüllhäutchen bleiben natürlich zurück.

säure nicht die Ursache dieser Erscheinung sein kann, denn alle Samen sind bekanntlich mehr oder weniger reich an diesen Körpern [1]). Wir müssen vielmehr mit Pfeffer annehmen, dass die Samen, deren Proteinkörner mehr oder minder schwer löslich sind, Alkali und Phosphorsäure in geringeren oder grösseren Mengen in Verbindungsformen enthalten, in welchen die genannten Körper nicht im Stande sind, die Löslichkeit der Eiweissstoffe zu vermitteln. So sind z. B. phosphorsaurer Kalk und schwefelsaures Kali nicht befähigt, die Proteinstoffe in Lösung zu bringen.

Wenn die Samen der Quellung unterliegen, und die Entwickelung des Embryo beginnt, so nehmen die Proteinkörner, wie wir früher bereits gesehen, eine zähflüssige Beschaffenheit an, und ihre Substanz mischt sich mit derjenigen der plasmatischen Grundmasse. Da wir nun wissen, dass einige Proteinstoffe (z. B. Albumin) an sich in Wasser löslich sind, und ferner die Hauptmasse der in Samen vorkommenden Eiweisskörper unter Vermittelung verschiedener Substanzen von dem Wasser aufgenommen werden kann, so folgt unmittelbar, dass der Zellsaft in den Elementargebilden der keimenden Samen Proteinstoffe in Lösung enthalten muss. Können nun diese gelösten Eiweissstoffe von Zelle zu Zelle translocirt werden? Zur Lösung dieser Frage habe ich zunächst verschiedene rein physikalische Experimente angestellt, aber ich will bereits hier so viel bemerken, dass jene Frage nur dann in bejahendem Sinne zu beantworten ist, wenn sich nachweisen lässt, dass die Proteinstofflösungen im Stande sind, die Zellmembranen und die Hautschicht des Plasma zu durchdringen.

Vor allen Dingen prüfte ich das osmotische Verhalten in einer Lösung vorhandener Eiweisskörper unter Benutzung eines an seinem unteren Ende mit Pergamentpapier verschlossenen Dialysators [2]). In den Dialysator selbst gelangte die auf ihr osmotisches Verhalten zu prüfende Flüssigkeit. Jeder einzelne Versuch wurde 20—24 Stunden lang fortgesetzt und dann untersucht, ob Proteinstoffe in das äussere Wasser übergegangen waren, oder ob dies nicht stattgefunden hatte. Die Lösungen, welche zu den Beobachtungen in Anwendung gelangten, waren die folgenden:

---

1) Selbstverständlich aber muss ein geringerer oder grösserer absoluter Gehalt der Samen an Alkaliphosphat in vielen Fällen von Einfluss auf die Löslichkeitsverhältnisse der Reserveproteinstoffe derselben sein.

2) Den Dialysator habe ich in meiner mehrfach citirten Abhandlung genau beschrieben.

1. Alkalisch reagirende Lösung von Conglutin in Kaliwasser;
2. Lösung von Conglutin in phosphorsaurem Natron (Na_2HPO_4);
3. Sauer reagirende Flüssigkeit, welche Conglutin, Dihydronatriumphosphat und Hydrodinatriumphosphat in Lösung enthielt;
4. Sauer reagirende Flüssigkeit, welche Conglutin, saures und neutrales citronensaures Kali in Lösung enthielt;
5. Wässeriger Extract aus zermahlenen weissen Riesenerbsen;
6. Wässeriger Extract aus zermahlenen gelben Lupinen;
7. Albuminhaltiger wässeriger Extract aus zermahlenen Gerstenkörnern.

Ich habe nun niemals bei mehrfacher Wiederholung der Beobachtungen auch nur eine Spur von Proteinstoffen in der äusseren Flüssigkeit nachweisen können, während verschiedene Substanzen, welche neben dem Conglutin in der inneren Flüssigkeit vorhanden waren, sich in der äusseren in geringeren oder grösseren Quantitäten vorfanden. Die Resultate der Beobachtungen lassen also darüber keinen Zweifel bestehen, dass die untersuchten pflanzlichen Proteinstoffe Substanzen repräsentiren, die nicht im Stande sind, Membranen von vegetabilischem Pergament zu passiren [1]).

Allerdings ist die Molekularstructur des vegetabilischen Pergaments nicht mit derjenigen der Zellmembranen und der Hautschicht des Plasma identisch. Aber man darf behaupten, dass die Molekularstructur dieser letzteren Gebilde eine, wie ich mich wohl ausdrücken darf, viel feinere als diejenige künstlicher Membranen ist, und dass Substanzen, welche diese nicht zu passiren vermögen, gewiss nicht im Stande sind, sich durch jene ohne weiteres einen Durchgang zu verschaffen.

Nur unter einer Voraussetzung ist es möglich, dass Proteinstoffe in der Pflanze als solche aus einer geschlossenen Zelle in die andere übergehen können. Es ist nämlich möglich, dass sich, wie wir bereits im ersten Capitel dieses Hauptabschnittes gesehen haben, Druckkräfte im vegetabilischen Organismus geltend machen, und dass diese nun eine Fortbewegung der Eiweisskörper herbeiführen. Ich habe Erbsenpflanzen längere Zeit in mit Gartenerde angefüllten Blumentöpfen bei Ausschluss des Lichts cultivirt, die oberirdischen Pflanzentheile abgeschnitten und dieselben mit den Schnittflächen, nachdem diese sorgsam mit Wasser abgespült worden waren, in ein wenig Wasser enthaltendes Gefäss gestellt.

1) Thierische Proteinstoffe können eventuell, wenngleich dies unwahrscheinlich ist, ein geringes Diffusionsvermögen besitzen. Man vgl. Kühne's physiol. Chemie, 1866, S. 49 und Fick's Physiologie d. Menschen, 1860, S. 406.

Ebenso habe ich im Dunkeln erzogene Gerstenkeimlinge im unversehrten Zustande oder nach dem Abschneiden der Spitzen der Wurzeln und der Plumula längere Zeit unter Wasser belassen. Die Bedingungen zum Zustandekommen von Druckkräften in den Pflanzen waren hier doch entschieden gegeben, aber dennoch zeigte sich, dass das Wasser, mit dem sich die Pflanzentheile in Berührung befunden hatten, selbst nach Verlauf mehrerer Stunden keine Proteinstoffe enthielt.

Wir gelangen also zu dem Schluss, dass in der Pflanze vielleicht zuweilen unter Mitwirkung von Druckkräften eine Translocation der Proteinstoffe als solcher erfolgen mag, dass sich aber thatsächlich solche Vorgänge nur selten geltend zu machen scheinen. Für die Entwickelung der Gewächse ist es deshalb von hoher Bedeutung, dass die Translocation stickstoffhaltiger Körper in denselben durch Substanzen ermöglicht werden kann, die nicht mehr den Charakter von Proteinstoffen besitzen [1]).

Zunächst ist daran zu erinnern, dass Proteinstoffe bei der Keimung häufig unter Vermittelung von Fermenten in Peptone umgewandelt werden. Und wenn neuere Untersuchungen nun auch festgestellt haben, dass Peptone allerdings nicht mit der grossen Diffusionsfähigkeit, wie man früher allgemein annahm, ausgerüstet sind, so ist doch so viel gewiss, dass sie die Membranen leichter als die Proteinstoffe selbst zu durchdringen vermögen.

An anderer Stelle haben wir uns ausführlich über das Vorkommen des Asparagins in Keimpflanzen ausgesprochen und bereits auf die Bedeutung der Asparaginbildung für die Keimpflanze hingewiesen. Hier ist speciell zu betonen, dass das Asparagin thatsächlich, wie ich gefunden habe, im Stande ist, als solches von Zelle zu Zelle zu wandern und die Fähigkeit besitzt, die Zellmembranen sowie die Hautschicht des Plasma zu passiren. Ich cultivirte Keimpflanzen der gelben Lupine so lange im Dunkeln, bis das hypocotyle Glied eine beträchtliche Länge erreicht hatte. Die Keimpflanzen wurden nun dicht über dem Boden, der ihnen zum Standorte gedient hatte, abgeschnitten, und mit den sorgfältig abgespülten Schnittflächen in Wasser gestellt. Nach Verlauf mehrerer Stunden wurden die Untersuchungsobjecte aus der Flüssigkeit herausgenommen, um diese auf ein kleines Volumen einzu-

1) Für die Bildung derartiger Substanzen in Keimpflanzen ist es vielleicht von besonderer Bedeutung, dass die Proteinstoffe der Samen bei beginnender Keimung in Lösung übergeführt werden können.

dunsten und auf einen Gehalt an Asparagin zu untersuchen[1]). In der That war Asparagin in nicht unerheblicher Menge vorhanden.

Das Asparagin trifft man bekanntlich in den Pflanzen nur in gelöstem Zustande an. Bedenkt man aber einerseits, dass das Asparagin ziemlich schwer löslich in Wasser ist, und zieht man andererseits in Betracht, dass manche Keimpflanzen sehr beträchtliche Asparaginmengen enthalten, so drängt sich die Frage auf, ob das in den letzteren vorhandene Wasser ausreicht, um die vorhandene Asparaginquantität in Lösung zu halten. Ich habe deshalb einige Beobachtungen über die Löslichkeitsverhältnisse des Asparagins vorgenommen und bin dabei zu folgenden Ergebnissen gelangt:

1 Theil Asparagin wurde gelöst bei
13.5° C. von 58.6 Thl. Wasser,
18—19 „ „ 51.2 „ „

Plisson fand, dass 58 Thl. Wasser von 13° C. 1 Thl. Asparagin aufzulösen vermögen, und Schulze und Umlauft[2]) haben unter Berücksichtigung dieser Angabe gefunden, dass das Wasser, welches sehr asparaginreiche Keimpflanzen der gelben Lupine enthalten, hinreicht, um das vorhandene Säureamid völlig in Lösung zu bringen. Immerhin liegt aber noch die Möglichkeit vor, dass das Vorhandensein fremder Substanzen die Löslichkeit des Asparagins in Wasser steigert oder deprimirt. So viel ergiebt sich aber aus meinen bezüglichen Untersuchungen mit Sicherheit, dass diejenigen Substanzen, welche neben Wasser in einem Extracte aus Lupinensamen vorhanden sind, die Löslichkeit des Asparagins nicht wesentlich beeinflussen. Man darf somit wohl annehmen, dass ebenfalls die Körper, welche neben dem Asparagin bei der Keimung der Lupine gebildet werden, auf die Löslichkeitsverhältnisse des Säureamides nicht erheblich modificirend einwirken werden.

Es unterliegt endlich wohl kaum einem Zweifel, dass anderweitige in den Pflanzen aus Proteinstoffen entstehende stickstoffhaltige Körper (z. B. Amidosäuren), wie das Asparagin die Fähigkeit besitzen, die Zellmembranen und die Hautschicht des Plasma zu passiren und von einer Zelle in die andere überzugehen.

---

1) Dies geschah unter Zuhülfenahme von Alkohol nach Pfeffer's Methode. Traubenzucker, Rohrzucker oder Dextrin waren in der Flüssigkeit nicht vorhanden.

2) Vgl. Schulze und Umlauft: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5. S. 850.

Siebenter Hauptabschnitt.

Der Einfluss verschiedener Temperaturen auf die Samen und Keimpflanzen.

Erstes Capitel.

Beschädigung der Samen und Keimpflanzen durch Abkühlung derselben auf niedere Temperaturen.

Bei der Beurtheilung derjenigen Verhältnisse, die sich auf den Einfluss der Temperatur auf das Pflanzenleben beziehen, ist vor allen Dingen daran festzuhalten, dass jeder physiologische Process nur innerhalb ganz bestimmter Temperaturgrenzen zur Geltung kommen kann. Es ist aber damit keineswegs gesagt, dass die Abkühlung einer Pflanze unter eine bestimmte, oder die Erwärmung derselben über eine gewisse Temperatur nothwendigerweise den Tod des vegetabilischen Organismus herbeiführt. Man beobachtet vielmehr, dass Pflanzen, so lange sie z. B. niederen Temperaturen über 0 oder gar dem Froste ausgesetzt sind, zwar keine normalen Lebenserscheinungen mehr zeigen, dass sie sich aber nach Beseitigung der ungünstigen Bedingungen unter Umständen kräftig weiter entwickeln. In vielen Fällen führt allerdings bereits die Abkühlung oder die nachfolgende Erwärmung den Tod der vegetabilischen Organismen herbei.

Die angeführten Thatsachen erscheinen merkwürdig genug, um unser Interesse lebhaft zu fesseln, und wir wollen ihnen in diesem Capitel unsere specielle Aufmerksamkeit zuwenden.

Es ist ein Factum, welches nicht bestritten werden kann, und niemals bestritten worden ist, dass das Wasser des Saftes krautiger Gewächse zu Eis erstarren kann. Dagegen haben ältere Beobachter, z. B. Hunter und Schöpf[1]) die Behauptung ausgesprochen, dass der Saft im Innern lebensfähiger und unversehrter Bäume nicht gefrieren könne. Auch dann noch, als Schüb-

1) Vgl. die Angaben von Sachs in den Versuchsstationen. B. 2, S. 170.

ler den Nachweis lieferte, dass im Winter im Innern der Bäume häufig eine Temperatur unter 0 herrsche, hielten verschiedene Forscher an der angedeuteten Ansicht fest[1]). Später haben Schübler und Göppert[2]) das Vorhandensein von Eis in Bäumen zur Zeit des Winters direct constatiren können, und damit war natürlich die entgegenstehende Anschauung für immer beseitigt[3]).

Wir können somit den Satz aussprechen, dass der Saft in jedem Pflanzentheile, wenn die Bedingungen dazu gegeben sind, gefrieren kann. Allerdings ist aber dabei zu beachten, dass dies bald sehr leicht, bald schwieriger eintreten wird, denn wir wissen, dass diejenigen Körper, welche die Pflanzensäfte in gelöster Form enthalten, nicht ohne Einfluss auf das Gefrieren derselben sind, und dass Wasser, welches durch Imbibitionskräfte festgehalten wird, bei weitem nicht so leicht zu Eis erstarrt wie Wasser im ungebundenen Zustande[4]). Ferner ist aber nicht zu vergessen, dass die gesammten Organisationsverhältnisse der Gewächse die Geschwindigkeit, mit der das Eindringen der Kälte in das Innere derselben erfolgt, bald mehr, bald weniger verlangsamen[5]).

Es wurde bereits angedeutet, dass die Pflanzen sich der Abkühlung auf niedere Temperaturen, respective einer erneuten Er-

---

1) Dieselben glaubten nämlich, dass die im Innern der Bäume entwickelte Eigenwärme die Eisbildung verhindere.

2) Vgl. Göppert: Ueber die Wärmeentwickelung in den Pflanzen. Breslau, 1830, S. 160.

3) Die Ansicht, dass die Eigenwärme der Pflanzen das Gefrieren der Säfte im Innern der Bäume verhindert, steht schon deshalb auf sehr schwachen Füssen, weil die im Winter in vegetabilischen Organismen frei werdende Wärme an sich sehr unbedeutend sein muss. Die Wärmemenge, die in Gewächsen erzeugt wird, steht ja bekanntlich in innigster Beziehung zu der Athmungsintensität derselben, und diese ist zur kalten Jahreszeit auf ein Minimum beschränkt.

4) Ueber die hier berührten Verhältnisse vgl. man H. Müller (Thurgau) (landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 9, S. 133). Der aus einer Kartoffel ausgepresste Saft gefror in Folge des Vorhandenseins gelöster Stoffe nicht bei 0°, sondern erst bei — 0.65° C. Eine Kartoffel, in die ein Thermometer eingesenkt worden war, liess sich auf fast — 3.2° C. überkälten, ohne dass Eisbildung erfolgte. Als die Temperatur der Knolle — 3.2° C. betrug, stieg dieselbe, weil jetzt Eisbildung und damit eine Freiwerdung von Wärme eintrat, auf — 0.98° C. Die Ueberkältung, welche Müller vielfach constatiren konnte, ist offenbar nur dadurch möglich, dass das Wasser durch Imbibitionskräfte in den Pflanzentheilen festgehalten wird und den bei der Eisbildung zur Geltung kommenden Krystallisationskräften einen Widerstand entgegen setzt. (Vgl. Müller's Abhandlung, S. 147).

5) So z. B. dringt die Kälte in das Innere dicker Bäume des schlechten Wärmeleitungsvermögens des Holzes wegen nur schwierig ein, und das Wasser im Centrum derselben mag selbst in strengen Wintern nicht zu Eis erstarren.

wärmung gegenüber sehr verschiedenartig verhalten können. Manche Pflanzen gehen bereits in Folge der Abkühlung an sich zu Grunde. Andere ertragen selbst eine Abkühlung bis auf Temperaturen unter 0° sehr wohl, werden aber unter Umständen durch nachträgliche Erwärmung auf die gewöhnliche Temperatur getödtet. Endlich existiren Gewächse, die im höchsten Grade unempfindlich gegen Temperaturschwankungen sind. Uebrigens ist zu bemerken, dass es nicht zulässig ist, die Pflanzen nach ihrem Verhalten niederen Temperaturen gegenüber in scharf von einander getrennte Gruppen zu bringen, denn selbst eine und dieselbe Pflanze zeigt je nach Umständen niederen Temperaturen gegenüber ein verschiedenartiges Verhalten.

Am widerstandsfähigsten gegen Temperaturverhältnisse sind wohl unter allen Gewächsen die Flechten und Moose. Es ist bekannt, dass dieselben höhere sowie niedere Temperaturen ohne wesentlichen Nachtheil ertragen, und dass sie sich selbst raschen Temperaturschwankungen gegenüber in hohem Grade unempfindlich erweisen. Diese Eigenthümlichkeiten haben sich die genannten Pflanzen offenbar im Kampfe um das Dasein erworben. Sie bewohnen vorzugsweise solche Gegenden der Erde, welche nicht mit günstigen klimatischen Verhältnissen gesegnet sind, und haben sich den herrschenden Verhältnissen eben in möglichst vollkommener Weise angepasst [1]).

Ganz verschieden von den angeführten Gewächsen verhalten sich nach Göppert [2]) viele tropische Pflanzen. Die Untersuchungsobjecte gelangten an einen vor Wind geschützten Ort und wurden einer Temperatur ausgesetzt, die niemals auf 0° gesunken sein soll, aber sich auch niemals beträchtlich über den Gefrierpunkt des Wassers erhob. Manche der Versuchspflanzen gingen selbst unter diesen Verhältnissen in kurzer Zeit zu Grunde. Es zeigten sich schwarze Flecke auf den Blättern, dieselben rollten sich ein und fielen schliesslich ab. Die Resultate der angeführten Beobachtungen scheinen darauf hinzudeuten, dass manche Pflanzen bereits zu Grunde gehen, wenn sie niederen Temperaturen, welche aber noch über dem Gefrierpunkt des Wassers liegen, ausgesetzt werden. Allerdings ist dabei zu bedenken, dass die Gewächse selbst, mit denen Göppert experimentirte, vielleicht durch Aus-

1) Besonders unempfindlich niederen Temperaturen gegenüber sind unter den höheren Gewächsen manche Pinusarten, Abiesarten sowie Helleborusarten und Viscum album etc.

2) Vgl. Göppert, Wärmeentwickelung. S. 42.

strahlung auf 0° oder gar auf noch niedrigere Temperaturen abgekühlt wurden. Ein derartiger Einwand lässt sich den Beobachtungen Hardy's [1]) gegenüber allerdings nicht erheben. Derselbe schützte die tropischen Gewächse, mit denen er experimentirte, mittelst Schilfdecken vor Ausstrahlung und giebt an, dass manche seiner Untersuchungsobjecte bereits bei einer Temperatur von + 3° C. abstarben [2]).

Wenn manche Pflanzen bereits durch Temperaturen, die noch über 0° liegen, getödtet werden, so ist es von vornherein sehr wahrscheinlich, dass Gewächse allein dadurch zu Grunde gehen können, dass das Wasser ihres Saftes zu Eis erstarrt. Es bedarf aber noch weiterer Untersuchungen zur Erforschung des berührten Verhältnisses.

Von hohem Interesse ist die Thatsache, dass viele Pflanzen eine Abkühlung bis auf Temperaturen unter 0° an sich ertragen, und dass ebenso das nachfolgende Aufthauen unter Umständen keinen nachtheiligen Einfluss auf sie ausübt, während dasselbe unter anderen Umständen ihre Lebensfähigkeit völlig vernichtet. Werden derartige Gewächse nämlich durch langsames Aufthauen allmählich aus dem gefrorenen Zustande in den normalen übergeführt, so vegetiren sie ruhig weiter; erfolgt das Aufthauen aber schnell, nachdem sie vorher bei derselben Temperatur wie im ersten Falle gefroren waren, so gehen sie unwiederbringlich zu Grunde und sind dann also erfroren.

Schon Du Hamel [3]) giebt an, dass rasches Aufthauen gefrorener Pflanzen nachtheilig für dieselben ist. Nach Thouin [4]) empfiehlt es sich, um von Nachtfrösten ergriffene Pflanzen zu erhalten, sie ganz allmählich zu erwärmen. Hingegen betont Göppert [5]), dass nach seinen Versuchen gefrorene bewurzelte Pflanzen [6]), die er, um ein langsames Aufthauen derselben herbeizuführen, mit

---

1) Vgl. Hardy: Botan. Zeitung. 1854. S. 202.

2) Allerdings sollen nach Beobachtungen von H. de Vries niedere Temperaturen über 0° an sich das Leben der Pflanzen niemals gefährden können. Dennoch scheinen mir die Angaben Hardy's noch nicht völlig widerlegt zu sein.

3) Vgl. Du Hamel, Phys. des arbres. Deutsch v. Schöllenbach. 1765. Th. 2. S. 277.

4) Vgl. bei Göppert, Wärmeentwickelung. S. 229.

5) Vgl. ebendaselbst. S. 231.

6) Göppert experimentirte mit bewurzelten Pflanzen von Pisum sativum, Phaseolus vulgaris und Vicia Faba. Versuche, die Göppert mit verschiedenen Blättern anstellte, führten zu denselben Ergebnissen wie die unter Benutzung bewurzelter Pflanzen ausgeführten.

Schnee in Berührung brachte, der allmählich schmolz, nach dem Aufthauen stets getödtet waren.

Sachs[1]) hat Blätter von Runkelrübenpflanzen, von Kohl und Raps bei — 4 bis — 6° C. gefrieren lassen und dann zum Aufthauen in Luft von + 2 bis 3° C. oder in Wasser von 6—10° C. gebracht. Es zeigte sich, dass die Pflanzentheile zu Grunde gingen. Die erfrorenen, d. h. durch Gefrieren und Aufthauen getödteten Pflanzentheile haben ihren Turgor verloren, sie werden schlaff und lassen den Zellsaft bei dem geringsten Druck austreten. Die erfrorenen Gewebenmassen werden durchscheinend, die Säfte verschiedener Zellregionen mischen sich mit einander, und dadurch erfolgt eine rasche Zersetzung der Bestandtheile derselben, die sich zumal in einer Farbenveränderung der Pflanzentheile kund giebt. Schliesslich vertrocknen die erfrorenen Gewächse schnell.

Als Sachs die gefrorenen Blätter, mit denen er experimentirte, hingegen in Wasser von 0° legte, um sie nur sehr langsam aufthauen zu lassen, gelang es, die Untersuchungsobjecte am Leben zu erhalten. Selbst die sehr empfindlichen Tabakblätter gingen unter diesen Verhältnissen nicht zu Grunde.

Ebenso kann man gefrorene Rübenwurzeln sowie Kartoffelknollen vor dem Erfrieren schützen, wenn man sie in möglichst kaltes Wasser wirft und darin langsam aufthauen lässt, während die gefrorenen Pflanzentheile bei raschem Aufthauen stets zu Grunde gehen. Experimentirt man mit rothen Rüben, so lässt sich bei der Ausführung derartiger Versuche noch ein interessantes Phänomen beobachten.

Werden gesunde rothe Rüben nämlich zerschnitten, und die Stücke nun nach dem Abspülen mit Wasser von gewöhnlicher Temperatur übergossen, so geben dieselben kaum merkliche Farbstoffquantitäten an die Flüssigkeit ab. Ebenso verhalten sich Rübenstücke, die zunächst gefroren und darauf langsam aufgethaut waren. Stücke erfrorener Rübenwurzeln hingegen lassen den Farbstoff aus ihren Zellen in Berührung mit Wasser ungemein leicht austreten.

Die vorstehend mitgetheilten Angaben lassen gar keinen Zweifel darüber bestehen, dass das Gefrieren des Zellinhalts an sich die Pflanzen in vielen Fällen keineswegs tödtet. Vielmehr ist in der Regel erst

---

1) Vgl. Sachs, Versuchsstationen, B. 2, S. 177 und Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen, S. 59.

die Art und Weise des Aufthauens von entscheidender Bedeutung für die Vegetation; bei langsamem Uebergang der Pflanzen aus dem gefrorenen in den normalen Zustand bleiben dieselben erhalten, während ein rasches Aufthauen für sie von den verhängnissvollsten Folgen ist[1]).

Von sehr grosser Bedeutung ist für uns die Thatsache, dass sich die Pflanzen im Allgemeinen der Wirkung des Frostes und dem Aufthauen gegenüber um so empfindlicher erweisen, je wasserreicher sie sind, während mit sinkendem Wassergehalte ihre Widerstandsfähigkeit im Grossen und Ganzen wächst[2]).

So ist es bekannt, dass die wasserarmen Winterknospen der Bäume sehr bedeutende Kältegrade ohne Nachtheil ertragen, und ebenso sind lufttrockene Samen in sehr hohem Grade unempfindlich gegen niedere Temperaturen.

Göppert[3]) stellte sich z. B. eine Kältemischung her, deren Temperatur zwischen — 25 bis — 40° schwankte. Dann gelangten Samen sehr verschiedener Pflanzen in ein Metallgefäss, und dieses wurde mit der Kältemischung umgeben. Die Samen befanden sich theils im lufttrockenen, theils im gequollenen Zustande der niederen Temperatur ausgesetzt. Es ergab sich, dass die lufttrockenen Samen, nachdem die Kälte auf sie eingewirkt, ihre Keimfähigkeit durchaus nicht eingebüsst hatten, während die gequollenen Samen sämmtlich keine Keimfähigkeit mehr besassen.

Einige Experimente, die ich in Bezug auf die hier in Rede stehenden Verhältnisse im Winter 1875/76 unter Benutzung der Früchte von Triticum vulgare anstellte, lieferten die folgenden Ergebnisse[4]). Die Behandlung der einzelnen Portionen der Früchte

---

1) Für denjenigen, der sich mit selbstständigen Untersuchungen über die hier berührten Verhältnisse beschäftigt, ist es von grosser Wichtigkeit, stets im Auge zu behalten, dass manche Pflanzen bereits durch den Einfluss niederer Temperaturen an sich getödtet werden, und dass eventuell Gewächse existiren können, die, wenngleich der Frost selbst ihre Lebensfähigkeit auch noch nicht vernichten sollte, doch vielleicht selbst beim langsamsten Aufthauen zu Grunde gehen.

2) Bereits De Candolle (vgl. dessen Physiologie, B. 3, S. 1103) war über dies Verhältniss unterrichtet.

3) Vgl. Göppert, Wärmeentwickelung. S. 49.

4) Vgl. Detmer, Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik. B. 2, H. 1.

(jede Portion bestand aus 12 möglichst gleichartig ausgebildeten Körnern) ist nachstehend angegeben:

a. Die Körner blieben zunächst 7 Stunden lang mit Wasser in Berührung und wurden dann 15 Stunden lang einer Temperatur von — 10° C. ausgesetzt, um sie nun auf ihre Keimfähigkeit zu prüfen;

b. Die Früchte wurden im lufttrockenen Zustande 15 Stunden lang einer Temperatur von — 10° C. ausgesetzt, um sie nunmehr auf ihre Keimfähigkeit zu prüfen;

c. Die Körner verharrten 7 Stunden lang in Berührung mit Wasser und wurden dann 15 Stunden lang einer Temperatur von — 5° C. ausgesetzt, um sie nun auf ihre Keimfähigkeit zu prüfen;

d. Die Früchte wurden im lufttrockenen Zustande 15 Stunden lang einer Temperatur von — 5° C. ausgesetzt, um sie nunmehr auf ihre Keimfähigkeit zu prüfen;

e. Früchte, die sich 7 Stunden lang mit Wasser in Berührung befunden hatten, wurden direct auf ihre Keimfähigkeit geprüft;

f. Lufttrockene Früchte wurden direct auf ihre Keimfähigkeit geprüft [1]).

Nachdem sich die Körner 7 Tage lang im Finstern und bei einer Temperatur von etwa 20° C. den Keimungsbedingungen ausgesetzt befunden hatten, ergaben sich die folgenden Resultate:

a. Kein Korn gekeimt;

b. Ein Korn nicht gekeimt;

c. Neun Körner nicht gekeimt, die Keimpflanzen der drei anderen waren sehr kümmerlich entwickelt;

d. Zwei Körner nicht gekeimt;

e. Ein Korn nicht gekeimt;

f. Ein Korn nicht gekeimt.

Die Plumula der Keimpflanzen von b, d und f zeigte die folgende Länge in Millimetern:

---

1) Die Früchte der Portionen a, b, c und d gelangten unmittelbar in die Kälte und nach 15 Stunden direct in ein warmes Zimmer. Bei der Ausführung der Keimproben wurden die Weizenkörner auf feucht erhaltenen Sand gelegt. Die Körner der Portion e gelangten gleichzeitig mit denjenigen der Portionen a und c in Wasser. Die Körner der Portion f gelangten gleichzeitig mit denjenigen der übrigen Portionen auf feuchten Sand.

b.	d.	f.
12	9	20[1]).
9	10	22
8	12	23
10	8	26
13	9	27
7	13	25
7	7	23
7	9	25
10	10	25
10	8	24
7		24

Ueberblickt man diese Angaben, so tritt der Unterschied im Verhalten der lufttrockenen und gequollenen Weizenkörner der Frostwirkung gegenüber deutlich genug hervor. Die ersteren büssten ihre Keimfähigkeit nicht ein, während die Kälte auf die wasserreichen Früchte einen sehr nachtheiligen Einfluss ausgeübt hatte. Besondere Beachtung verdient die zuerst von mir constatirte Thatsache, dass die Keimtheile der aus solchen Weizenkörnern erzogenen Pflanzen, die im lufttrockenen Zustande dem Einfluss niederer Temperatur ausgesetzt gewesen waren, einen nicht unerheblich geringeren Grad der Evolution als die Keimtheile derjenigen Pflanzen erreicht hatten, welche sich aus den Körnern der Portionen e und f entwickelten. Uebrigens scheinen sich nicht alle Samen in der hier zuletzt berührten Beziehung gleichartig zu verhalten. So fand ich wenigstens, dass die Entwickelung von Erbsenkeimpflanzen in ganz gleicher Weise erfolgte, mochten die Samen einer niederen Temperatur im lufttrockenen Zustande ausgesetzt gewesen, oder ohne weiteres zur Keimung ausgelegt worden sein. In allen Fällen gingen die meisten Samen aber zu Grunde, wenn sie einer Temperatur von — 5 bis — 10 ° C. im gequollenen Zustande preisgegeben worden waren; dies trat auch dann ein, wovon ich mich durch directe Versuche überzeugte, wenn die Abkühlung sowie das Aufthauen der Untersuchungsobjecte sehr allmählich geschah[2]).

---

1) Die Körner der Portion e lieferten ganz ähnliche Keimpflanzen wie diejenigen der Portion f. Bemerkt sei noch, dass die Wurzeln der Keimpflanzen der Portionen b und d ebenfalls eine geringere Entwickelung als diejenigen der Keimpflanzen von f zeigten.

2) Ein allmähliches Abkühlen und Erwärmen der Untersuchungsobjecte ist dadurch leicht zu erreichen, dass man die Gefässe, in denen sich dieselben befinden, gänzlich in Sand vergräbt, mit dem etwa ein Blumentopf angefüllt ist. Dieser Blumen-

Uebrigens will ich nicht vergessen, zu erwähnen, dass nach Untersuchungen von Tautphöus[1]) unter Umständen zunächst gequollene und dann dem Einfluss der Kälte preisgegebene Samen doch erheblich weniger leiden, wenn das Aufthauen langsam erfolgt, als dann, wenn dieser Process schnell stattfindet. Verschiedene Samenarten verweilten im gequollenen Zustande eine Nacht lang bei einer Temperatur von — 5° C. Nach dem Aufthauen wurde das Untersuchungsmaterial, ebenso aber auch eine Samenmenge, die der Kälte nicht ausgesetzt gewesen war, zur Keimung ausgelegt. Die Beobachtungen führten zu folgenden Ergebnissen:

	Gekeimt von den nicht gefrorenen Körnern %.	gefrorenen Körnern %.
		Langsam aufgethaut.
Weizen	100	86
Roggen	97	88
Raps	100	97
		Plötzlich aufgethaut.
Weizen	100	18
Roggen	97	35
Raps	100	66.5

Auffallend ist, was Thautphöus übrigens ebenso bei der Ausführung anderweitiger Versuche constatiren konnte, dass die Rapssamen stets eine grosse Widerstandsfähigkeit niederen Temperaturen gegenüber zeigen. Es scheint sogar — und dies Verhältniss besitzt ein hohes Interesse — dass ölreiche Samen überhaupt weit weniger unter dem Einflusse der Kälte als stärkereiche leiden. Nach 24stündiger Einwirkung einer Temperatur von — 10° C. auf angequollene Leinsamen keimen nach F. Haberlandt[2]) bei raschem Aufthauen derselben 83 %, bei langsamer Temperatursteigerung 79 %. Gequollene Leinsamen, die einer Temperatur von — 24° C. ausgesetzt werden, sind nach schnellem Aufthauen noch zu 20 %, nach langsamem Aufthauen aber nur noch zu 1 % keimfähig (?)[3]).

---

topf wird mit seinem Inhalt zunächst der Kälte ausgesetzt, dann später aber ins warme Zimmer gestellt.

1) Vgl. Tautphöus: Ueber die Keimung der Samen. Dissertation. München 1876. S. 65.

2) Vgl. F. Haberlandt, Versuchsstationen. B. 21, S. 357.

3) Dass viele Samen eine ausserordentliche Widerstandsfähigkeit niederen Temperaturen gegenüber besitzen, zeigen namentlich noch die Resultate gewisser Untersuchungen C. de Candolle's (vgl. Botan. Zeitung, 1880, S. 64). Derselbe hat

Im Zusammenhange mit den hier berührten Verhältnissen sei noch auf die merkwürdige Thatsache hingewiesen, dass Pflanzen, während dieselben, nachdem sie einer gewissen Temperatur unter 0° ausgesetzt waren, nach dem Aufthauen häufig weiter wachsen, oft zu Grunde gehen, wenn bedeutendere Kältegrade vor dem Aufthauen auf sie einwirkten [1]). Ebenso ist es interessant, dass Pflanzen, die einmal oder mehrfach gefrieren und aufthauen und nicht getödtet worden sind, absterben, wenn das Gefrieren und Aufthauen häufiger wiederkehrt [2]).

Als man den ersten Versuch machte, die Ursachen, welche es bedingen, dass Pflanzen in Folge der Frostwirkung zu Grunde gehen können, festzustellen, glaubte man die gesammten Fragen, um die es sich hier handelt, in sehr einfacher Weise beantworten zu können. Es ist bekannt, dass das Eis, welches sich beim Gefrieren einer gegebenen Wasserquantität bildet, ein grösseres Volumen als diese selbst einnimmt. Was Wunder, dass man zunächst auf den Gedanken kam, die Beschädigung der Pflanzen durch den Frost sei Folge eines durch das Stattfinden der Ausdehnung der Pflanzensäfte beim Gefrieren derselben verursachten Zerreissens der Zellmembranen. In der That kann sich ein derartiges Verhältniss wohl geltend machen, wenn Gewächse sehr schnell abgekühlt werden, und der Saft in vielen Zellen plötzlich erstarrt [3]). Gewöhnlich aber tritt kein Zerreissen der Zellhäute in Folge der Eisbildung ein.

Schon von vornherein ist geltend zu machen, dass die Zellhäute eine nicht unerhebliche Dehnbarkeit besitzen, und also, wenn der Zellinhalt erstarrt, nicht zu zerreissen brauchen, sondern dem auf sie einwirkenden Druck nachgeben können. Ueberdies ist hier

---

die Samen von 13 Pflanzenspecies, vermischt mit Metallstückchen, 2 Stunden lang Temperaturen unter — 80° C. ausgesetzt. Später unter günstige Vegetationsbedingungen gebracht, keimten die Samen fast alle durchaus normal.

1) Vgl. Göppert, Wärmeentwickelung. S. 131. Vgl. auch die soeben angeführten Beobachtungsresultate F. Haberlandt's.

2) Vgl. ebendaselbst S. 62.

3) Es sei hier noch erwähnt, dass nach Mohl (vgl. Botan. Zeitung, 1860, S. 7) und nach Wiesner (vgl. Sitzungsberichte d. Akdm. d. Wiss. zu Wien, B. 64, S. 465) die Trennungsschicht solcher Blätter, die in Folge des Frostes abgeworfen sind, zerrissene Zellen aufweist, während die Zellen der Trennungsschicht der Blätter, wenn dieselben in normaler Weise abfallen, niemals zerreissen, sondern sich einfach von einander abheben.

ferner auf ein bereits besprochenes Verhältniss mit Nachdruck hinzuweisen, dessen Berücksichtigung unmittelbar lehrt, dass der durch niedere Temperaturen herbeigeführte Tod der Gewächse mindestens in sehr vielen Fällen seine Ursache nicht in einem Zerreissen der Zellmembranen haben kann[1]). Wir haben ja gezeigt, dass viele gefrorene Pflanzentheile, wenn das Aufthauen derselben langsam erfolgt, nicht zu Grunde gehen, sondern normal weiter wachsen, und daraus erhellt evident, dass von einem Zerreissen der Zellmembranen in Folge des Gefrierens der Pflanzensäfte meistens nicht die Rede sein kann; denn machte sich ein derartiges Verhältniss in der That geltend, so wäre die Thatsache, dass gefrorene Pflanzen, wenn sie langsam aufthauen, wieder zu normalem Leben erwachen[2]), durchaus unbegreiflich. Wir müssen vielmehr annehmen, dass ein rasches Aufthauen gefrorener Pflanzentheile eine Zerstörung der Molekularstructur der organisirten Gebilde der Zellen bedingt, während langsames Aufthauen nicht dieselben Erscheinungen hervorruft.

Wir kommen auf das soeben berührte Verhältniss weiter unten zurück. Zunächst muss noch auf einige Beobachtungen hingewiesen werden, aus denen direct hervorgeht, dass der Frost kein Zerreissen der Zellmembranen bedingt, sondern dass der Tod der Gewächse, wenn derselbe in Folge der Frostwirkung überhaupt eintritt, in der Regel ganz andere Ursachen haben muss.

Göppert[3]) hat viele Pflanzenzellen, die Temperaturen unter 0° ausgesetzt gewesen waren, nach dem Aufthauen untersucht, aber das Vorhandensein von Rissen in den Zellmembranen nicht nachweisen können. Allerdings sprechen schon diese Angaben dafür, dass das

1) Mit den hier berührten Verhältnissen steht die Erscheinung des Aufreissens der Rinde der Bäume in Folge des Frostes natürlich in keinem directen Zusammenhange. Derartige Wirkungen des Frostes auf die Bäume finden vielmehr ins Besondere in dem Umstande, dass das Holz ein schlechter Wärmeleiter ist, ihre Erklärung. Bei eintretender Kälte ziehen sich die peripherischen Gewebemassen der Stämme erheblich zusammen, während dagegen die inneren Theile des Holzes, weil sie eine noch relativ hohe Temperatur besitzen, ihr Volumen nicht wesentlich vermindern, und auf diese Weise kann offenbar ein Zerreissen der ersteren herbeigeführt werden. In dem sehr kalten Winter von 1683 sollen die Stämme, Zweige sowie Wurzeln von Eichen und Eschen etc. mit Krachen zerspalten sein.

2) Wir haben es hier mit einer Thatsache zu thun, welche, wie wir sahen, auf experimentellem Wege exact demonstrirt werden kann. Die Anschauung Schacht's (vgl. dessen Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Gewächse, 1859, B. 2, S. 528), dass Pflanzen, wenn der Saft derselben wirklich gefroren ist, stets zu Grunde gehen, muss demnach als eine unrichtige bezeichnet werden.

3) Vgl. Göppert, Wärmeentwickelung. S. 25.

Gefrieren der Säfte in den Pflanzen kein Zerreissen der Zellmembranen herbeiführt, aber dennoch ist zu bedenken, worauf bereits Nägeli[1]) hinweist, dass es entschieden sehr schwierig ist, die Frage, um welche es sich hier handelt, mit Hülfe der von Göppert angewandten Methode definitiv zu entscheiden. Einerseits ist es nämlich geradezu unmöglich, jede einzelne Zellmembran eines grösseren Pflanzentheils auf das Vorhandensein von Rissen zu prüfen, und ferner ist zu erwägen, was noch weit mehr ins Gewicht fällt, dass sich die beim Gefrieren des Zellinhalts eventuell entstandenen Risse beim Aufthauen der Pflanzentheile so vollständig schliessen können, dass es selbst nicht gelingt, ihre Existenz bei starker Vergrösserung nachzuweisen.

Nägeli suchte deshalb die Frage nach dem Verhalten der Zellmembranen beim Gefrieren des Zellsaftes auf andere Weise zu entscheiden. Nägeli liess Zellfäden von Spirogyra orthospira gefrieren und brachte die Pflanzen nach dem Aufthauen mit Glycerinlösung in Berührung. Es zeigte sich, dass alle Glieder der durch den Frost getödteten Fäden zusammengedrückt wurden. Das Phänomen war demjenigen vollkommen gleich, welches sich geltend macht, wenn lebende Pflanzentheile in Glycerin-, Zucker-, Dextrin- oder Salzlösungen gelangen. „Dies ist“, so sagt Nägeli, „eine Wirkung der Diosmose und nur möglich, wenn die Membran eine geschlossene unverletzte Blase darstellt. Wären Risse vorhanden, so würde durch diese die Glycerinlösung eindringen, und jedenfalls könnte der hydrostatische Druck von aussen nicht einwirken und ein Zusammenpressen zur Folge haben.“

Ueberdies macht Nägeli in der citirten Abhandlung noch darauf aufmerksam, dass der Uebergang des Wassers in Eis eine Flächenzunahme der Zellhaut von $^1|_{17}$ erfordert. Ein derartiges Ausdehnungsvermögen kann man gewiss jeder Zellmembran zuschreiben, so dass also auch von diesem Gesichtspunkte aus die Anschauung bestritten werden muss, als erfolge beim Gefrieren der Pflanzen ein Zerreissen der Membranen[2]) [3]).

---

1) Vgl. Nägeli, Sitzungsber. d. k. bayr. Akademie d. Wiss. 1861. B. 1, S. 267.

2) Man vgl. noch über die hier berührten Verhältnisse die folgenden Abhandlungen: Sachs, Berichte über die Verhandlungen d. k. sächsischen Gesellschaft d. Wiss., 1860, S. 1; Sachs, Flora, 1862, S. 17; Nägeli, Flora, 1862, S. 203.

3) Wenn wir nach dem Gesagten auch hervorheben müssen, dass die Zellmembranen in Folge der Frosteinwirkung keine leicht nachweisbaren Veränderungen erfahren, so ist damit keineswegs gesagt, dass ihre Structur durch die niedere Tem-

Von einem Zerreissen der Zellmembranen kann also in den meisten Fällen beim Erfrieren der Gewächse nicht die Rede sein. Wir sind deshalb darauf angewiesen, anzunehmen, dass das Zugrundegehen der Pflanzen mit einer gänzlichen Zerstörung der Molekularstructur der organisirten Gebilde der Zellen verbunden ist. Im normalen Zustande besteht ein Gleichgewichtsverhältniss zwischen den einzelnen mit Wasserhüllen umgebenen Tagmen sowohl der Zellhäute als auch des Plasma, und das Lagerungsverhältniss der Tagmen unter einander ist ein ganz bestimmtes. Wird dieser Zustand aufgehoben — und dies kann eben in Folge des Erfrierens der Zellen geschehen — so muss die Molekularstructur der organisirten vegetabilischen Gebilde und damit die Lebensfähigkeit der Pflanze vernichtet werden.

Es ist nun allerdings keineswegs leicht, sich über das Wesen der hier in Rede stehenden Vorgänge eine klare Vorstellung zu bilden; indessen gelingt dies doch einigermassen unter Berücksichtigung einiger Erscheinungen, auf die Sachs[1]) mit Nachdruck hingewiesen hat.

Wenn man nämlich Stärkekleister oder geronnenes Eiweiss gefrieren und wieder aufthauen lässt, so erhält man Massen, in denen die molekulare Anordnung des Wassers und der festen Substanzen eine wesentlich andere als vor dem Gefrieren geworden ist. Es seigt sich, dass man es jetzt nicht mehr mit homogenen Gemischen von Wasser mit Amylum oder Eiweiss zu thun hat; vielmehr haben sich die Stärke- und Eiweissmoleküle in Folge des Gefrierens derartig zusammen gruppirt, dass sie jetzt ein aus festen Partikelchen bestehendes Netzwerk repräsentiren, in dessen Maschen sich das Wasser bewegt. Bei der Eisbildung, so müssen wir annehmen, führen die Krystallisationskräfte eine Trennung der Wassermoleküle von den Molekülen der Stärke sowie des Eiweisses herbei; die festen und flüssigen Theilchen gehen in einen neuen Gleichgewichtszustand über, und das Wasser tropft in Folge dessen, wie es thatsächlich der Fall ist, nach dem Aufthauen von den Amylum- oder Eiweissmassen ab oder lässt sich durch gelinden Druck von denselben trennen[2]).

---

peratur überhaupt in keiner Weise modificirt wird. Die Veränderungen können derartiger Natur sein, dass wir nicht im Stande sind, dieselben mit unseren jetzigen Hülfsmitteln direct nachzuweisen.

1) Sachs, Handbuch. S. 60.

2) Die hier berührten Processe stehen zu denjenigen in Beziehung, welche sich geltend machen, wenn Salzlösungen gefrieren. Man hat nämlich constatirt (vgl.

Ebenso müssen wir annehmen, dass beim Gefrieren von Pflanzentheilen die Anordnung der Tagmen sowie der Wassermoleküle gänzlich verändert wird. Ein Theil des Wassers des Zellsaftes und ferner eine bestimmte Quantität des vom Plasma sowie von den Cellulosemembranen imbibirten Wassers trennt sich in Folge des Gefrierens von den saftigen Geweben und tritt bei langsamem Gefrieren oft in bedeutender Menge in Form von Eiskrusten, die aus dicht gedrängten kleinen Eiskrystallen bestehen, auf der Oberfläche derselben hervor. Die Eiskrystalle wachsen an ihrer Basis weiter, während das Pflanzengewebe sich nach Massgabe des Wasserverlustes zusammenzieht und seinen Turgor verliert [1]). Wenn das Aufthauen gefrorener Pflanzentheile langsam stattfindet, so kann die gesammte in Folge des Aufthauens der Eiskrystalle entstehende Wassermenge aufs Neue von den Zellen aufgenommen werden. Der Zellsaft nimmt sein ursprüngliches Concentrationsverhältniss wieder an, Protoplasma sowie Zellmembranen kehren wieder in den normalen Imbibitionszustand zurück, und das Leben des Pflanzentheils bleibt, wenn dasselbe nicht schon durch das Gefrieren an sich vernichtet worden war, erhalten. Bei sehr schnellem Aufthauen gefrorener Pflanzentheile kann das sich bildende Wasser nicht schnell genug von den Zellen aufgenommen werden. Die normalen Concentrations- und Imbibitionszustände in den Zellen werden nicht wieder hergestellt, und dies führt in vielen Fällen den Tod der Pflanzen herbei [2]).

Die hier geltend gemachten Anschauungen über das Wesen der Vorgänge, die bei dem Erfrieren von Pflanzentheilen hervortreten, sind um so beachtenswerther, als sie vortrefflich dazu geeignet sind, eine Erklärung für die verschiedensten Phänomene zu bieten, welche man thatsächlich bei der Untersuchung des Einflusses der Kälte und des Aufthauens auf Pflanzentheile beobachtete. Von vornherein geht aus dem Gesagten hervor, dass wasserreiche Gewebemassen leichter als wasserärmere erfrieren müssen, denn die Krystallisationskräfte können den Tagmen der ersteren das Wasser beim Gefrieren entschieden weit leichter als den letz-

Rüdorff in Poggd. Annl., 1861, B. 114, S. 63 und 1862, B. 116, S. 55), dass sich eine gefrierende Salzlösung scheidet in reines Wasser, welches zu Eis erstarrt, und in eine concentrirtere, einen tieferen Gefrierpunkt besitzende Lösung.

1) Vgl. Specielleres bei Sachs, Berichte d. k. sächs. Gesellsch. d. Wiss., 1860 und Lehrbuch d. Botanik, 1874, S. 703.

2) Mit den hier zuletzt erwähnten Processen geht gewiss eine völlige Zertörung der Lebenseinheiten des Plasma Hand in Hand.

teren entziehen. Ferner hat man thatsächlich constatiren können, dass erfrorenes Protoplasma [1]) gänzlich zerstört ist, häufig zu krümeligen Klümpchen zerfällt und Farbstoffe, die es vorher festhielt, austreten lässt. Und ebenso, wie gefrorene Kleister- oder Eiweissmassen das Wasser, welches sie enthalten, nach dem Aufthauen leicht verlieren, lassen auch erfrorene Pflanzen die Flüssigkeit leicht fahren. Der Filtrationswiderstand der Hautschicht des Plasma ist bedeutend deprimirt, so dass der Zellsaft mit Leichtigkeit austreten kann.

Es wurde oben bereits darauf hingewiesen, dass erfrorene Gewächse schnell vertrocknen. Auch diese Erscheinung erklärt sich leicht unter Berücksichtigung des Gesagten, denn wenn die Zellen ihren Turgor beim Erfrieren verlieren, und wenn der Filtrationswiderstand des Hyaloplasma schwindet, so muss auch die Transpirationsgrösse derartig veränderter Gewebemassen zunehmen. Nägeli [2]) hat zur genaueren Feststellung der bezüglichen Verhältnisse besondere Beobachtungen ausgeführt, indem er einerseits erfrorene, andererseits durchaus normale Kartoffelknollen, die sämmtlich annähernd dieselbe Grösse besassen, den Transpirationsbedingungen aussetzte. In der That verdunsteten von den ersteren in der Zeiteinheit grössere Wasserquantitäten als von letzteren, und als jene bereits den lufttrockenen Zustand angenommen hatten, enthielten diese noch ziemlich viel Feuchtigkeit [3]).

---

1) Vgl. Kühne, Untersuchungen über das Protoplasma. 1864. S. 100.

2) Vgl. Nägeli, Sitzungsber. d. k. bayr. Akdm. d. Wiss. zu München. 1860. B. 1, S. 238.

3) Nägeli macht auch noch darauf aufmerksam, dass geschälte Kartoffelknollen in der Zeiteinheit weit mehr Wasser an die Luft abgeben als ungeschälte. Ich bin bei bezüglichen Versuchen (vgl. Journal f. Landwirthschaft, 1879, S. 119) zu demselben Ergebnisse geführt worden. Just (vgl. Cohn's Beiträge zur Biologie der Pflanzen, 1875, H. 3, S. 11) constatirte, dass geschälte Aepfel mehr Wasser als ungeschälte an die Atmosphäre abgeben. In 96 Stunden verloren Aepfel bei

	Ungeschälte.	Geschälte.
21 ° C.	3.322	44.24 Grm. Wasser
26 „	3.140	49.27 „ „
32 „	7.160	57.26 „ „
56 „	28.740	80.65 „ „

Wurden die Aepfel höheren Temperaturen ausgesetzt, so nahm die Verdunstungsgrösse derselben bedeutend zu, und bei 97 ° C. war die Wasserabgabe der ungeschälten und der geschälten Untersuchungsobjecte dieselbe. Es ist hier nicht der Ort, auf die Ursachen, welche den in dieser Anmerkung berührten Verhältnissen zu Grunde liegen, näher einzugehen; ich verweise den Leser übrigens auf bezügliche Auseinandersetzungen in meiner soeben citirten Abhandlung.

Zweites Capitel.

Beschädigung der Samen und Keimpflanzen durch Erwärmung derselben auf höhere Temperaturen.

Als eines der wesentlichsten Ergebnisse unserer Erörterungen über den Einfluss niederer Temperaturen auf Pflanzen ist dieses anzusehen, dass dieselben um so leichter unter den angedeuteten Umständen leiden, je wasserreicher sie sind. Ganz ebenso vernichten höhere Temperaturen das Leben wasserreicher Gewächse leichter als dasjenige wasserarmer, ja ein und derselbe Pflanzentheil setzt dem Einflusse höherer Temperaturen einen um so grösseren Widerstand entgegen, je ärmer er an Feuchtigkeit ist. Wir kommen weiter unten auf das hier zuletzt berührte interessante Verhältniss zurück, und wir werden dann erfahren, dass sich die Thatsächlichkeit desselben in ganz vorzüglicher Weise gerade durch solche Experimente constatiren lässt, bei deren Ausführung man einerseits lufttrockene, andererseits gequollene Samen in Anwendung bringt.

Zunächst interessirt uns hier die Frage, bei welcher Temperatur in voller Lebensthätigkeit begriffene, saftreiche Pflanzentheile getödtet werden. Sachs[1]) hat bereits vor längerer Zeit eingehendere Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt. In Blumentöpfen cultivirte Gewächse gelangten in einen Heizapparat, und verweilten in demselben längere oder kürzere Zeit. Während der Exposition musste natürlich vor allen Dingen die Temperatur der Erde in den Töpfen sowie diejenige der Luft, welche die oberirdischen Theile der Beobachtungsobjecte umgab, genau festgestellt werden. Eine Versuchsreihe, die mit Exemplaren von Nicotiana rustica, welche 5—6 Blätter besassen, durchgeführt wurde, lieferte z. B. die folgenden Ergebnisse:

1. Exemplar bis auf 44° C. erwärmt, 30 Minuten lang bei 44—45° C.; höchste Temperatur der Erde 44.5° C. Die Pflanze nahm keinen Schaden[2]).
2. Exemplar eine Stunde lang in Luft von 45° C. blieb unbeschädigt.

---

1) Vgl. Sachs, Flora. 1864. Nr. 1 etc.

2) Nachdem die Pflanzen im Heizapparat verweilt hatten, wurden sie längere Zeit unter normalen Lebensbedingungen belassen und ihr Verhalten einer aufmerksamen Prüfung unterzogen. Ein derartiges Verfahren ist um so nothwendiger, als die Gewächse, wenn sie höheren Temperaturen ausgesetzt gewesen sind, häufig erst nach Verlauf mehrerer Tage zu kränkeln beginnen.

3. Exemplar eine Stunde lang in Luft von 45—47° C., der Boden erwärmte sich bis auf 43.5° C; blieb unbeschädigt.
4. Exemplar 15 Minuten lang in Luft von 50—51.5° C.; blieb unbeschädigt.
5. Exemplar 11 Minuten lang in Luft von 51—52° C., die Wurzeln bis 49° C. erwärmt; die Pflanze schien anfangs unbeschädigt, aber nach 6 Tagen wurden die fertigen Blätter missfärbig, die jungen gingen später zu Grunde.

Aus diesen und vielen mit anderweitigen Pflanzen von Sachs ausgeführten Versuchen schliesst derselbe, dass saftreiche Pflanzentheile zu Grunde gehen, wenn sie kurze Zeit lang (10—30 Minuten) in einer Luft von etwa 51° C. verweilen[1]), während 2—3° C. tiefer liegende Temperaturen selbst längere Zeit hindurch ohne Nachtheil ertragen werden[2]). Wenn das die saftigen Pflanzentheile umgebende Medium nicht Luft, sondern Wasser ist, so gehen dieselben, wie Sachs ferner ermittelte, weit leichter zu Grunde. Ein 10 Minuten lang dauerndes Verweilen von Blättern etc. in Wasser von 45—46° C. führt den Tod derselben herbei.

Sehr beachtenswerth ist nun die Thatsache, dass sich wasserarme Pflanzentheile dem Einfluss höherer Temperaturen gegenüber weit weniger empfindlich als wasserreiche zeigen[3]).

Schon Edwards und Colin[4]) constatirten, dass Getreidekörner (Weizen-, Roggen- sowie Gerstenkörner) und Leinsamen nicht zu Grunde gingen, wenn sie 15 Minuten lang in trockener Luft von 75° C. verweilt hatten. Verharrten Getreidekörner oder Samen von Hülsenfrüchten dagegen 15 Minuten lang in Wasser von 75° C., so waren sie getödtet, ja es genügte schon, die Unter-

1) Uebrigens ist zu beachten, dass die Pflanzentheile wahrscheinlich nicht genau die Temperatur der sie umgebenden Luft annahmen.

2) Verweilen Pflanzen aber recht lange Zeit, z. B. viele Stunden lang in einem Raume, in welchem eine Temperatur von 48—49° C. herrscht, so gehen sie zweifelsohne zu Grunde.

3) Für uns ist speciell das Verhalten der Samen von Interesse. Beiläufig sei aber bemerkt, dass ebenso Sporen ein eigenthümliches Verhalten bei höherer Temperatur zeigen. Nach H. Hoffmann (vgl. Pringsheim's Jahrbücher, B. 2, S. 324) können die Sporen von Uredo segetum im trockenen Zustande ohne Schaden auf 128° C. erhitzt werden, während sie im feuchten Zustande bereits bei einer Temperatur von 58.5—62° C. zu Grunde gehen. Brefeld (vgl. Botan. Zeitung 1878, S. 525) fand, dass Bacterienkeime eine Temperatur von 100° C. ohne Schaden ertragen.

4) Vgl. Edwards und Colin, Annl. d. sc. nat. Botan. 1834. Ser. II, T. I, p. 264.

suchungsobjecte 5 Minuten lang mit dem heissen Wasser in Berührung zu lassen, um ihre Lebensfähigkeit zu vernichten [1]). Ebenso vernichtete 15 Minuten lang dauerndes Verweilen der Samen in Wasser von 62 ° C. die Keimfähigkeit derselben. Zu beachten ist noch, dass Wasserdampf von 75 ° C. in derselben Weise wie heisses Wasser auf die Untersuchungsobjecte einwirkte; eine 15 Minuten lang andauernde Berührung der Früchte und Samen mit Wasserdampf von 62 ° C. tödtete sie aber meist nicht [2]).

Ebenso hat Heiden [3]) festgestellt, dass lufttrockene Gerstenkörner noch keimten, wenn sie eine Stunde lang trockener Luft von 90 ° C. ausgesetzt gewesen waren, während ein 1 stündiges Verweilen der Früchte in Wasser von 60 ° C. ihre Keimfähigkeit vernichtete. Wasser von 100 ° C. tödtete die Gerstenkörner schon, wenn dieselben sich $^1/_2$ Minute lang mit demselben in Berührung befunden hatten.

Die bekannten auf Anregung von Sachs von H. Fiedler ausgeführten Versuche über den Einfluss höherer Temperaturen auf die Samen [4]) sind in der Weise vorgenommen worden, dass das Untersuchungsmaterial entweder im lufttrockenen Zustande oder nach 24stündigem Quellen in ein Probirglas gelangte, welches in Wasser von bestimmter Temperatur eintauchte. Die Exposition der Samen dauerte in jedem Falle eine Stunde; sie wurden dann in feuchte Erde gelegt und auf ihre Keimfähigkeit geprüft.

100 Stück lufttrockener Samen / gequollener Samen lieferten z. B. Keime, die über die Erde kamen [5]) [6]).

	lufttrockener Samen				gequollener Samen			
	Nicht erhitzt.	57—58 ° C.	64—65 ° C.	74 ° C.	Nicht erhitzt.	49—50 ° C.	53—54 ° C.	54—55 ° C.
Erbsen	88	—	75	1	96	75	20	
Gerste	96	98	6		90	3		
Mais	100	90	25		88	2		

1) Uebrigens erwähnen Edwards und Colin auch, dass der Einfluss der Wärme auf Samen sich sehr nach der Zeitdauer, während welcher die Untersuchungsobjecte höheren Temperaturen ausgesetzt bleiben, richtet. Verweilten Getreidekörner drei Tage lang in Wasser von 35 ° C., so verloren sie ihre Keimfähigkeit fast völlig.

2) Vgl. über die hier berührten Verhältnisse ebenso Fleischer, Beiträge zur Lehre von dem Keimen der Samen der Gewächse. 1851. S. 28.

3) Vgl. E. Heiden: Ueber das Keimen der Gerste. Dissertation. 1859. S. 34.

4) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie d. Pflanzen. 1865. S. 66.

5) Es sei bemerkt, dass sich neben den Keimen, die über die Erde kamen, meist noch solche entwickelten, welche, bevor sie die Erde durchbrechen konnten, verkümmerten.

6) Die leeren Felder in der Tabelle sollen anzeigen, dass die entsprechenden Samen des Versuchs nicht gekeimt haben.

Auf alle Fälle geht abermals aus diesen Beobachtungen hervor, dass lufttrockene Samen sich dem Einflusse höherer Temperaturen gegenüber weit widerstandsfähiger als wasserreichere erweisen. Immerhin muss aber das von Fiedler benutzte lufttrockene Untersuchungsmaterial noch ziemlich viel Feuchtigkeit enthalten haben, denn im Jahre 1863 von F. Haberlandt[1]) angestellte Versuche haben ergeben, dass viele Samen unter günstigen Bedingungen, wenn sie nämlich recht trocken sind, 48 Stunden lang bei einer Temperatur von 100° C. verweilen können, ohne getödtet zu werden. Die Versuche wurden mit 88 Samenarten und Varietäten unserer Kulturpflanzen aus 17 Familien[2]) durchgeführt. Zur Ausführung jedes einzelnen Versuchs verwendete Haberlandt 20 Samenkörner.

I. Bei 48stündigem Erhitzen auf 100° C. büssten nur 12 Samenarten ihre Keimfähigkeit gänzlich ein, nämlich: Asparagus officinalis, Allium Porrum, Spinacia oleracea, Lactuca sativa, Apium graveolens, Pimpinella Anisum, Cucumis Melo, Pisum sativum, Phaseolus vulgaris, 2 Variet., Ph. coccineus und Allium sativum.

Eine theilweise Tödtung trat ein bei: Zea Mays, Panicum germanicum, P. miliaceum, Anethum graveolens, Foeniculum vulgare, Daucus Carota, Carum Carvi, Papaver somniferum, Camelina sativa, Cucurbita Pepo, Sanguisorba officinalis, Trifolium pratense, die zu 10—25 %$_0$ keimten.

Alle übrigen 64 Samenarten keimten vollständig; 7 davon mit starker Verspätung (3 Varietäten von Mais, Panic. germ., Helianth. ann., Pap. somnif., Petros. sat.); 46 mit geringer Retardation der Keimung; 9 erlitten keine solche; 2 sogar eine Verfrühung derselben (Alopecurus pratensis, Medicago lupulina).

II. Bei einer 48stündigen Erwärmung der Samen auf 87.5° C. erfolgte eine gänzliche Tödtung nur bei Phaseolus vulgaris und bei Cucumis Melo. Eine theilweise nur bei Pap. somnif., Sanguisorba officin., Carum Carvi, Daucus Carota. Bei 34 Arten zeigte sich eine Verspätung der Keimung ($^1/_2$—3 Tage meist, bei Lactuca sativ. $5^1/_2$, bei Petros. sativum 8 Tage); 9 Arten keimten

1) Vgl. F. Haberlandt: Allgem. land- und forstw. Zeitung. 1863. B. 1, S. 389. Mitgetheilt nach Angaben von Höhnel in d. wissenschl.-prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, herausgegeben von F. Haberlandt. B. 2, S. 79.

2) Diese waren: Gramineen (28 Arten), Liliaceen (3), Chenopodiaceen (2) Polygoneen (1), Urticaceen (1), Compositen (4), Labiaten (1), Ranunculaceen (1), Solaneen (2), Rubiaceen (1), Coniferen (8), Papaveraceen (1), Lineen (1), Umbelliferen (7), Cucurbitaceen (4), Sanguisorbeen (1), Papilionaceen (18).

ohne Retardation; bei 35 Arten trat eine $^1|_2$—3 tägige Verfrühung der Keimung ein.

III. Wirkten Temperaturen von 56 oder 57 ° C. durch 48 Stunden ein, so wurde kein schädlicher Einfluss bemerkt, indem die meisten Samen entweder gleichzeitig oder früher als die nicht erwärmten keimten.

IV. Haberlandt hat ferner die merkwürdige Thatsache constatiren können, dass ein vorsichtiges und allmähliches Erwärmen lufttrockener Samen auf 56—87.5 ° C. im Allgemeinen eine Verkürzung der Keimdauer zur Folge hat. Nimmt man nämlich aus allen Beobachtungen die Mittel, so erhält man für Erwärmungstemperaturen von

37.5 ° C. 56 ° C. 75 ° C. 87.5 ° C. 100 ° C. durch je 48 Stunden,
eine mittlere Keimdauer von
5.45 5.2 5.2 5.03 7.47 Tagen.

Man sieht, dass die Keimdauer im Allgemeinen abnimmt; erst bei einer dauernden Erwärmung auf 100 ° C. tritt eine bedeutende Verspätung ein, die nach Haberlandt möglicherweise zum Theil durch eine ausserordentliche Verhärtung der Samen und Fruchthäute bedingt ist.

Es tritt uns immer wieder bei der Betrachtung der Resultate derjenigen Untersuchungen, welche über den hier in Rede stehenden Gegenstand ausgeführt worden sind, die Thatsache entgegen, dass lufttrockene Samen recht hohe Temperaturen ohne Schaden ertragen können, während die Samen in Berührung mit warmem Wasser ihre Keimfähigkeit alsbald einbüssen. Je höher die Temperatur des Wassers ist, um so schneller wird der Embryo der Samen vernichtet. Nicht sehr warmes Wasser wirkt erst dann erheblich nachtheilig auf die Samen ein, wenn dieselben längere Zeit in demselben verweilen. Nach Fiedler z. B. keimten von einer Weizenprobe, die sich eine Stunde lang mit Wasser von 49—50 ° C. in Wechselwirkung befunden hatte, noch ziemlich viele Früchte, während Edwards und Colin fanden, wie wir gesehen haben, dass ein dreitägiges Verweilen von Getreidekörnern in Wasser von 35 ° C. die Keimfähigkeit derselben fast gänzlich vernichtet.

Zumal im Anschluss an diese zuletzt erwähnten Beobachtungen hat F. Haberlandt neuerdings weitere Untersuchungen über den Einfluss des Quellwassers von verschiedenen Temperaturen auf die Keimfähigkeit der Samen ausgeführt [1]). Derselbe experimentirte mit sehr verschiedenen Samenarten und brachte dieselben entweder direct im lufttrockenen Zustande oder nach 24 stündigem Ein-

1) Vgl. F. Haberlandt: Wissenschl.-prakt. Untersuchungen etc. B. 2, S. 47.

quellen in Wasser von 12—15° C. mit Wasser von verschiedenen Temperaturen in Berührung. Die Expositionszeit betrug 5 oder 10 Stunden. Nach dieser Zeit wurden die Samen aus dem Wasser herausgenommen und auf ihre Keimfähigkeit, sowie auf ihre Keimungsenergie geprüft. Von den vielen Versuchen Haberlandt's will ich hier nur wenige ausführlicher zur Kenntniss bringen:

	Ohne vorhergehendes Einquellen.		Nach vorhergegangener Quellung.	
	Procente der gekeimten Samen.	Mittlere Keimzeit in Tagen.	Procente der gekeimten Samen.	Mittlere Keimzeit in Tagen.
Roggen.				
a) Controlprobe [1]	94	1.60	93	1.45
b) bei 30° C. durch 5 Stunden	88	1.42	78	1.51
c) „ 30° C. „ 10 „	72	1.66	50	2.00
d) „ 40° C. „ 5 „	60	1.80	40	2.13
e) „ 40° C. „ 10 „	58	2.54	20	3.86
f) „ 50° C. „ 5 „	48	3.98	0	0
g) „ 50° C. „ 10 „	0	0	0	0
Mais.				
a) Controlprobe	95	3.32	—	—
b) bei 30° C. durch 5 Stunden	98	2.05	98	2.75
c) „ 30° C. „ 10 „	100	1.86	100	2.54
d) „ 40° C. „ 5 „	100	2.07	100	2.18
e) „ 40° C. „ 10 „	100	2.17	98	3.32
f) „ 50° C. „ 5 „	94	2.25	58	3.44
g) „ 50° C. „ 10 „	38	3.34	10	3.60
h) „ 55° C. „ 5 „	8	3.50	4	5.00
i) „ 55° C. „ 10 „	0	0	0	0
Lein.				
a) Controlprobe	92	3.30	—	—
b) bei 30° C. durch 10 Stunden	82	3.27	56	3.97
c) „ 40° C. „ 10 „	66	2.12	40	4.50
d) „ 50° C. „ 5 „	16	6.00	0	0
e) „ 50° C. „ 10 „	10	5.80	0	0
f) „ 55° C. „ 5 „	0	0	0	0
Erbsen.				
a) Controlprobe	91	2.82	—	—
b) bei 30° C. durch 10 Stunden	48	2.94	36	2.94
c) „ 40° C. „ 10 „	44	2.45	5	2.80
d) „ 50° C. „ 5 „	1	3.00	0	0
e) „ 50° C. „ 10 „	0	0	0	0

1) Die Samen der Controlprobe wurden direct, ohne vorherige Behandlung mit warmem Wasser, zum Keimen ausgelegt.

Mit Rücksicht auf die Resultate der in Rede stehenden Untersuchungen Haberlandt's ist zu bemerken, dass derselbe Forscher vor einiger Zeit Beobachtungen über die obere Temperaturgrenze für den Keimungsprocess ausführte [1]). Dieselbe liegt danach z. B.

für Roggen	zwischen	31	und	37 ° C.
„ Mais	„	44	„	50 ° C.
„ Lein	„	31	„	37 ° C.
„ Erbsen	„	31	„	37 ° C.

Dagegen geht schon aus den im Vorstehenden specieller zur Mittheilung gelangten Beobachtungsresultaten Haberlandt's hervor — und dasselbe haben weitere Versuche des genannten Forschers ergeben — dass die Keimfähigkeit der Samen keineswegs völlig vernichtet wird, wenn dieselben z. B. einige Zeit in Berührung mit Wasser von 50 ° C. verweilen. Die Zahlenangaben für die obere Temperaturgrenze der Keimung sind also durchaus niedriger als jene, welche sich auf die höchste Temperatur des Quellwassers beziehen, nach dessen 5 oder 10stündiger Anwendung überhaupt noch eine Keimung erfolgte. Dies Verhältniss wird übrigens sofort begreiflich, wenn man bedenkt, dass die Samen bei der Ausführung der verschiedenen Versuche durchaus nicht denselben Bedingungen ausgesetzt waren, und wir brauchen demselben hier deshalb keine weitere Aufmerksamkeit zu widmen.

Sehr deutlich lassen die Ergebnisse der Beobachtungen Haberlandt's erkennen, dass die direct mit warmem Wasser in Berührung gebrachten Samen und Früchte weit weniger unter dem Einflusse desselben litten als diejenigen, welche vorher einer 24stündigen Quellung unterworfen worden waren. Der Grund ist leicht einzusehen. Lufttrockene Samen, in warmes Wasser gebracht, werden erst nach geraumer Zeit bis in die inneren Partien durchfeuchtet; sie sind somit der nachtheiligen Wirkung des warmen Wassers durch kürzere Zeit als die vorher angequollenen Untersuchungsobjecte ausgesetzt.

Der nachtheilige Einfluss des warmen Wassers auf die Samen und Früchte tritt um so deutlicher hervor, je länger sich dieselben mit der Flüssigkeit in Berührung befinden, und um so höher die Temperatur des Wassers ist. Die schädliche Wirkung selbst macht sich in einer Beeinträchtigung der Keimfähigkeit und in einer Verminderung der Keimungsenergie geltend. Nur beim Mais wirkt Wasser von höherer Temperatur (bis zu einer bestimmten

1) Vgl. F. Haberlandt, Versuchsstationen. B. 17, S. 104.

Grenze) in jeder Hinsicht günstig auf das Untersuchungsmaterial ein. Besonders empfindlich zeigen sich dem Einflusse warmem Wassers gegenüber Erbsensamen und Gerstenkörner. Mit Bezug auf die letzteren ist übrigens zu bemerken, dass das warme Wasser nicht nur in Folge seiner Temperatur, sondern ebenso in Folge anderweitiger Verhältnisse besonders nachtheilig auf dieselben einwirkt. Haberlandt hat nämlich die merkwürdige Thatsache constatiren können, dass Gerstenfrüchte bereits dann bedeutend leiden[1]), wenn sie vor dem Keimen 24 Stunden lang in Wasser von 3 oder 20 ° C. verweilen, während andere Früchte und Samen unter solchen Verhältnissen nicht benachtheiligt werden. Offenbar muss also auf die Gerstenkörner das Verweilen derselben unter Wasser schon an sich, mag die Temperatur der Flüssigkeit niederig oder hoch sein, einen nachtheiligen Einfluss ausüben, und es ist zu vermuthen, dass der beschränkte Sauerstoffzutritt zum Auftreten chemischer Processe in den Früchten Veranlassung giebt, welche die Entwickelungsfähigkeit des Embryo in irgend einer Weise schädigen.

Mit den vorstehenden Angaben in offenem Widerspruch scheinen auf den ersten Blick andere zu stehen, nach denen manche Samen selbst nach Behandlung mit siedendem Wasser in unerheblicher Weise Beschädigungen erfahren.

Pauchet[2]) fand, dass Samen, die in der ungewaschenen brasilianischen Schafwolle vorhanden waren, noch zum Theil keimten, wenn die Wolle zur Reinigung vier Stunden lang mit siedendem Wasser behandelt worden war. Vorzugsweise waren Medicagosamen in der Wolle zugegen, und als andere Samen derselben Art längere Zeit mit Wasser gekocht wurden, fanden sich stets einige, welche in Folge dieser Operation kein Wasser aufgenommen hatten, sich aber später als keimfähig erwiesen. Die gequollenen Samen keimten nicht.

Nobbe[3]) hat beobachtet, dass die Schliessfrüchte von Polygonum orientale nach halbstündigem Kochen in Wasser nicht gequollen und so keimfähig wie zuvor waren[4]).

1) Die Keimfähigkeit sowie die Keimungsenergie der Gerstenfrüchte wird deprimirt.

2) Vgl. Pauchet, Compt. rend. T. 63. p. 939.

3) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde, S. 228 und Versuchsstationen, B. 15. S. 262.

4) Nach H. Hoffmann (vgl. Nobbe, Handbuch, S. 229) sollen die hartschaligen kleinen Schliessfrüchte der Brombeeren sowie Himbeeren nach zweistündiger Behandlung mit kochendem Wasser ihre Keimfähigkeit gänzlich einbüssen.

Es fällt sofort auf, dass die Untersuchungsobjecte ihre Keimfähigkeit nach der Behandlung mit siedendem Wasser nicht einbüssten, wenn sie nicht in den gequollenen Zustand übergegangen waren. Die Resistenz der Samen- oder Fruchtschale dem heissen Wasser gegenüber ist also unter Umständen eine sehr bedeutende. Diejenigen Untersuchungsobjecte, welche in dem heissen Medium nicht quollen, werden allerdings die Temperatur des sie umgebenden Wassers annehmen können, sich aber im Contact mit der Flüssigkeit, da sie nicht im Stande sind, dieselbe zu absorbiren, fast genau so wie in Berührung mit heisser Luft verhalten. In allen denjenigen Fällen aber, in welchen das heisse Wasser in das Innere der Samen eindringt, erfolgt die Vernichtung der Keimfähigkeit, wie wir gesehen haben, in kürzester Frist.

Wir müssen uns hier schliesslich noch mit den Resultaten verschiedener neuerer Untersuchungen über den Einfluss höherer Temperaturen auf Samen bei Ausschluss des Wassers bekannt machen, und wir werden finden, dass die bezüglichen Beobachtungen in mancher Hinsicht zu interessanten Ergebnissen geführt haben.

Wiesner[1]) giebt an, dass nach seinen Untersuchungen verschiedene Nadelholzsamen (von Fichten sowie Lärchen) Temperaturen bis zu 70° C. wenigstens durch kurze Zeit (15 Minuten) ohne Beeinträchtigung ihrer Keimfähigkeit ertragen. Wiesner constatirte ferner, was mit bereits erwähnten Resultaten gewisser Untersuchungen F. Haberlandt's in Einklang steht, dass die erhitzten Coniferensamen in der Regel sogar eine grössere Keimungsenergie als die nicht erwärmten zeigen.

Erwähnung verdienen hier ferner die Angaben von Velten[2]) über den Einfluss höherer Temperaturen auf die Samen von Pinus Picea. Das Untersuchungsmaterial, welches seiner Gesammtmasse nach von demselben Standort zu gleicher Zeit geerntet worden war, wurde ohne vorherige Austrocknung je 4 Stunden lang Temperaturen von 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 90 oder 100° C. ausgesetzt, dann bei einer Temperatur von 24° C. durch 24 Stunden eingequollen und schliesslich in einem Keimapparat, der in einem Thermostaten stand, bei 24° C. zur Entwickelung gebracht. Die

1) Vgl. Wiesner, Sitzungsber. d. Wiener Akdm. d. Wiss., B. 64. Abthlg. 1, S. 426 und Versuchsstationen, B. 15, S. 297.

2) Vgl. Velten, Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. in Wien. B. 74, 2. Abtheilung.

Versuche wurden stets auf eine Zeit von 14 Tagen ausgedehnt[1]). Die Untersuchungen Velten's ergaben nun zunächst, dass mit Erhöhung der Temperatur die Keimfähigkeit der Samen im Allgemeinen abnimmt. Selbst ein einstündiges Erwärmen der Samen auf 80° C. reicht schon hin, um die Keimfähigkeit derselben fast völlig zu vernichten. Ebenso constatirte Velten, dass die erwärmten Samen fast durchgehends langsamer als die nicht erwärmten keimten.

Sehr interessant sind noch die folgenden von Velten gewonnenen Beobachtungsergebnisse. Fichtensamen, die im Winter nach der Ernte zur Keimung ausgelegt worden waren, zeigten ein sehr geringes Keimprocent, während dieselben Samen, im nächsten Sommer zur Keimung gebracht, sich als sehr keimfähig erwiesen. Wenn die Samen, welche im Winter jene geringe Keimfähigkeit (21 %) gezeigt hatten, 3 Stunden 21 Minuten lang einer Temperatur von 55° C. ausgesetzt blieben, so erlangten sie dadurch eine sehr bedeutende Keimfähigkeit (97 %), und ebenso stieg ihre Keimungsenergie erheblich. Veränderungen, welche unter natürlichen Verhältnissen durch die Länge der Zeit und die höhere Sommertemperatur ganz allmählich in den Samen hervorgerufen werden, vollzogen sich unter dem Einfluss der Temperatur von 55° C. sehr schnell. Uebrigens ist zu bemerken, dass die grössere Keimfähigkeit der älteren und der erwärmten Samen unzweifelhaft nur als eine scheinbare anzusehen ist. Hätte Velten seine Keimversuche länger als 14 Tage fortgeführt, so würde er gewiss auch im Winter eine bedeutende Keimfähigkeit der Samen constatirt haben. Die höhere Temperatur und ebenso das Liegenlassen bis zum Sommer steigerten allerdings die Keimungsenergie der Samen, und dieser Umstand hat Velten dann zu der Schlussfolgerung geführt, der gegenüber ich mich soeben ablehnend verhalten habe.

Krasan[2]) stellte Untersuchungen über die Temperaturen an, bis zu denen Weizenkörner, ohne ihre Keimfähigkeit einzubüssen, erwärmt werden können.

Starkes Austrocknen bei gewöhnlicher Temperatur unter Zuhülfenahme von Chlorcalcium hat keinen nachtheiligen Einfluss auf die Keimung. Weizenkörner büssen ihre Keimfähigkeit bei sehr sorgfältigem Austrocknen auch durch eine Temperatur von

1) Die Zeit von 14 Tagen ist für Keimversuche mit Samen von Nadelhölzern, als eine viel zu kurze anzusehen.

2) Vgl. Krasan, Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. zu Wien. 1873. B. 67. Abthlg. 1. S. 195.

100° C. nicht ein. Allerdings aber erleiden sie eine Schädigung, welche sich zunächst darin ausprägt, dass die Keimungsenergie der Früchte in Folge des Austrocknens wesentlich deprimirt ist. Ebenso litt die Evolutionsintensität der Embryonen in Folge des Erwärmens nicht unerheblich, und zwar wurde sie um so mehr beeinträchtigt, je höher die Temperatur, bei der das Austrocknen stattgefunden hatte.

Nach Angaben von Just[1]) keimen die Samen von Trifolium pratense bei Temperaturen, die oberhalb 39° C. liegen, nicht mehr. Kleesamen, die vor und während des Erwärmens sorgfältig getrocknet wurden, büssten erst nach Einwirkung einer Temperatur von 120° C. ihre Keimfähigkeit vollkommen ein, während sie Temperaturen unter 120° C. ertrugen. Es handelte sich hierbei um Temperaturwirkungen durch $^1/_2$—2 Stunden. Just fand stets, dass Kleesamen, die einer hohen Temperatur ausgesetzt gewesen waren, meist langsamer und in geringerer Anzahl keimten, als solche, die eine niedere Temperatur ertragen hatten. Je sorgfältiger die Trocknung, desto geringer die Schädigung durch die hohe Temperatur. Uebrigens kann man auch durch die sorgsamste Trocknung eine sehr bedeutende Schädigung durch Temperaturen über 100° C. nicht beseitigen. Samen von Trifolium pratense, die sehr sorgsam getrocknet und auf Temperaturen von 100° C. oder gar auf noch höhere Temperaturen erwärmt worden waren, zeigten eine grössere Schädigung, wenn ihnen das für die Keimung nöthige Wasser schnell, während sie noch heiss waren, gegeben wurde, als wenn sie dasselbe langsam erhielten.

Im Anschluss an die bereits erwähnten Untersuchungen über den Einfluss höherer Temperaturen auf Samen, hat Höhnel[2]) fernere Beobachtungen über denselben Gegenstand angestellt. Dabei legte er namentlich Gewicht auf ein sehr sorgfältiges Austrocknen der Untersuchungsobjecte, sowie darauf, dass dieselben die gewünschten Temperaturen thatsächlich annahmen[3]). Ich gehe hier zunächst auf die Resultate der zweiten von Höhnel durchgeführten Versuchsreihe genauer ein.

---

1) Vgl. Just: Botan. Zeitung, 1875, S. 52 und Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pflanzen, B. 2, S. 315.

2) Vgl. Höhnel: Wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen auf d. Gebiete des Pflanzenbaues, herausgegeben v. F. Haberlandt. B. 2. S. 77.

3) Beim Erwärmen gelangten die Samen, mit Messingfeilspänen gemischt, in ein Probirglas. Temperaturen über 100° C. wurden durch Chlorcalciumlösungen von verschiedener Concentration und Siedehitze erzeugt.

Verschiedene Samen verweilten mehrere Wochen lang mit Chlorcalcium unter einer Glasglocke. Die grösseren Samenarten verloren dabei im Mittel 2.08 %, die kleinen aber 2.42 % ihres Wassergehalts. Die Untersuchungsobjecte wurden nun auf 80° C. erwärmt und 48 Stunden lang mit Chlorcalcium bei 80—92° C. belassen. Es verloren hierbei die grossen Samenarten aus Columne A der folgenden Tabelle 3.77 %, die kleinen 1.78 % Wasser; ferner die grossen Samen aus Columne B 3.998 %, die kleinen 1.67 % Wasser[1]). Die Samen von B wurden nach dem Trocknen bei 80—92° C. während einer Stunde auf 110° C. erwärmt und dann durch eine Stunde auf einer Temperatur erhalten, die von 109—110.4° C. schwankte.

Samenarten.	Nicht getrocknete Samen (Controlproben).		A [2]).		B [3]).	
	Gekeimt %	Keimdauer[4])	Gekeimt %	Keimdauer	Gekeimt %	Keimdauer
Phaseolus vulgaris . . .	100	56	20	98	—	—
Pisum sativum	80	50	57	53	16	70
Ervum Lens	96	32	66	54	49.5	65
Vicia sativa	95	58	95	70	50	101
Zea Mays	100	69	16	134	—	—
Triticum vulgare	98	94	86	161	75	170
Hordeum vulgare	93	46	56	57	16	65
Avena sativa	98	52	74	77	26	150
Secale cereale	98	22	76	44	25	102
Polygonum Fagopyrum . .	86	32	86	47	20	87
Rumex Patientia	88	87	88	74	34	127
Sinapis alba	98	41	46	109	16	165
Linum usitatissimum . .	82	68	60	116	22	147
Cucumis Melo	100	53	100	96	80	149
Origanum Majorana . . .	79	65	78	77	60	196
Allium sativum	60	86	60	110	2	309
Nigella sativa	70	102	24	191	—	—

1) Offenbar waren die kleinen Samen von vornherein trockener.

2) Die Samen von A waren nur bei 80—92° C. getrocknet worden.

3) Die Samen von B waren zunächst wie diejenigen von A behandelt, dann aber ferner bei 110° C. getrocknet worden.

4) Die Keimdauer ist in Stunden ausgedrückt.

Die Erwärmung der Samen auf 80—92° C. hat, wie aus den vorstehenden Angaben ersichtlich wird, bereits eine bedeutende Schädigung derselben herbeigeführt, indem ihre Keimfähigkeit und ihre Keimungsenergie deprimirt worden ist. Eine Erwärmung auf 110° C. beschädigt die Samen in noch höherem Masse, ja drei Species derselben büssten ihre Keimfähigkeit dabei völlig ein. Auf alle Fälle ist es aber höchst beachtenswerth, dass Samen, ohne vernichtet zu werden, überhaupt Temperaturen über 100° C. ertragen können. Höhnel constatirte sogar, dass einzelne Samenindividuen von Rumex Patientia und Trifolium hybridum nach sehr sorgsamem Austrocknen Temperaturen von 118—121° C., denen sie 15 Minuten lang ausgesetzt blieben, ertrugen, ohne ihre Keimfähigkeit einzubüssen. Die meisten Individuen derselben Samenproben gingen allerdings unter dem Einflusse der hohen Temperaturen zu Grunde, und man sieht also, dass dieselben auf verschiedene Samenindividuen derselben Species durchaus nicht in gleicher Weise einwirken [1]).

Schliesslich sind noch Beobachtungen von Just [2]) über den Einfluss hoher Temperaturen auf die Körner der Gerste und des Hafers zu erwähnen. Haferfrüchte ertragen selbst noch Temperaturen von 122° C. in nennenswerther Weise; die Gerstenkörner sind empfindlicher. Temperaturen über 122° C. vernichten die Keimfähigkeit der genannten Untersuchungsobjecte vollkommen. Ich gehe hier nicht weiter auf die Resultate der Beobachtungen Just's ein, und möchte endlich nur noch die wichtigsten Ergebnisse, zu denen man bis jetzt beim Studium des Einflusses höherer Temperaturen auf die Samen gelangt ist, wie folgt kurz zusammenfassen:

1. Verweilen Samen unter Wasser, so erfahren sie eine Schädigung [3]). Diese tritt um so mehr hervor, je höher die Temperatur des Wassers, und je länger sich die Samen mit demselben in Berührung befinden.

2. Einige Samen können übrigens, ohne Schädigungen zu erfahren, selbst längere Zeit in siedendem Wasser verweilen. Man hat es in diesem Falle aber stets mit Samen zu thun, die sehr

---

1) Es sei hier noch bemerkt, dass nach Höhnel die Samen von Origanum Majorana durch Erwärmung auf 100° C. eine Beschleunigung der Keimung erfahren.

2) Vgl. Just, Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pflanzen. B. 2. S. 311.

3) Wenn hier und im Folgenden von einer Schädigung der Samen die Rede ist, so ist darunter stets eine gleichzeitige Beeinträchtigung der Keimfähigkeit, der Keimungsenergie und der Evolutionsintensität der Untersuchungsobjecte zu verstehen.

schwer quellbar sind, und in Folge dessen in Contact mit dem heissen Medium keine Flüssigkeit aufgenommen haben.

3. Verweilen Samen in einer wassergasreichen Atmosphäre, so erfahren sie allerdings allmählich, zumal wenn die Temperatur der an Feuchtigkeit reichen Luft höher ist, sehr erhebliche Schädigungen, aber dies tritt doch nicht so leicht ein wie dann, wenn sich die Samen mit warmem Wasser in Berührung befinden.

4. Weit weniger nachtheilig als feuchte Luft wirkt trockene Luft von höherer Temperatur auf Samen ein. Die Samen leiden ganz allgemein unter dem Einflusse höherer Temperaturen um so weniger, je wasserärmer sie sind.

5. Allerdings kann man die Samen durch sorgfältiges Austrocknen in hohem Grade gegen die nachtheiligen Einwirkungen hoher Temperaturen schützen, aber es gelingt dennoch niemals, selbst durch die weitgehendste Austrocknung nicht, die Schädigungen hoher Temperaturen völlig zu beseitigen [1]).

6. Die Schädigungen, welche Samen in Berührung mit trockener Luft von hoher Temperatur erfahren, treten um so mehr hervor, je höher die Temperatur der Luft, und je länger sich die Untersuchungsobjecte mit derselben in Berührung befinden.

7. Die höchsten Temperaturen, welche manche Samen überhaupt ertragen können, liegen zwischen 120 und 125° C.

8. Es existiren einige Samen, die, im trockenen Zustande Temperaturen bis 100° C. (nicht darüber) ausgesetzt, keine Schädigungen erleiden, sondern im Gegentheil eine Steigerung ihrer Keimungsenergie erfahren.

9. Die einzelnen Samenarten und ebenso die einzelnen Individuen ein und derselben Samenspecies verhalten sich dem Einfluss höherer Temperaturen gegenüber (mag Wasser vorhanden sein oder fehlen) sehr verschiedenartig.

Wenn es sich darum handelt, die Ursachen festzustellen, welche die Schädigung der Pflanzen durch hohe Temperaturen herbeiführen, so ist namentlich zu bemerken, dass vor allen Dingen der plasmatische Inhalt der Zellen unter dem Einflusse der Wärme Veränderungen erfährt.

Werden wasserreiche Pflanzentheile (Blätter, Internodien, gequollene Samen) Temperaturen ausgesetzt, die höher liegen als die Gerinnungstemperatur des in ihnen vorhandenen Eiweiss ist, so muss natürlich die Coagulation des Proteinstoffs eine Vernichtung

1) Man vgl. übrigens das unter 8 Gesagte.

der Lebensfähigkeit der Zellen zur Folge haben. Viele Physiologen sind aber weiter der Meinung, dass die durch höhere Temperaturen herbeigeführte Vernichtung der Lebensfähigkeit wasserreicher Pflanzentheile durchaus nicht immer mit einer Gerinnung des Eiweiss Hand in Hand zu gehen braucht. Ich will die Richtigkeit dieser Anschauung durchaus nicht in Abrede stellen, aber möchte doch wenigstens zu bedenken geben, dass die Gerinnungstemperatur von Eiweisslösungen keineswegs unter allen Umständen dieselbe ist.

Heiden[1]) hat z. B. aus Gerstenkörnern möglichst concentrirte wässerige Extracte hergestellt. Auf dem Wasserbade vorsichtig erwärmt, war das Eiweiss derselben bei 57° C. vollkommen geronnen. Die ersten Spuren der Coagulation zeigten sich beim Erwärmen der erwähnten Flüssigkeit bereits, als dieselbe eine Temperatur von 48° C. angenommen hatte. Wenn Heiden mit Gersteextracten verschiedener Concentrationen operirte, so trat das völlige Gerinnen des Albumins durchaus nicht immer bei derselben Temperatur ein; vielmehr konnte dasselbe bei 57, 58, 66, 67, 70 oder 73° C. erfolgen. Aus diesen kurzen Andeutungen ergiebt sich bereits, dass die Temperatur, bei der die Coagulation des Eiweiss in den Pflanzensäften erfolgt, keine constante ist, sondern je nach Umständen verschiedenartig ausfallen muss, und auf dieses Verhältniss möchte ich mit etwas mehr Nachdruck hinweisen, als es bisher geschehen ist.

Im Uebrigen bin ich der Meinung, dass höhere Temperaturen sehr oft, ohne eine Eiweissgerinnung herbeizuführen, schädlich auf Pflanzenzellen einwirken. Die Wärme kann die intramolekulare Bewegung der Atome der Lebenseinheiten des Plasma derartig steigern, dass diese letzteren völlig vernichtet werden. Es werden sich dann todte Eiweissmoleküle in den Pflanzenzellen bilden, die Atome gehen in einen stabilen Gleichgewichtszustand über, und diese Processe führen schon an sich, ohne dass eine Coagulation des Eiweiss erfolgt ist, die übrigens in vielen Fällen nachträglich, zumal bei höherer Temperatur, stattfindet, den Tod der Pflanzen herbei.

Die Veränderungen selbst, welche das Plasma wasserreicher Pflanzentheile unter dem Einflusse höherer Temperaturen erfährt, sind denjenigen sehr ähnlich, die sich beim Erfrieren der Pflanzenzellen geltend machen[2]). Das Plasma ballt sich in Klumpen

1) Vgl. Heiden: Ueber das Keimen der Gerste. Dissertation, 1859, S. 42.
2) Vergl. Sachs, Flora. 1864. S. 74.

zusammen. Der Turgor der Zellen geht völlig verloren; die getödteten Pflanzentheile werden schlaff und vertrocknen alsbald. Ferner lässt das durch höhere Temperaturen getödtete Plasma Farbstoffe, die es im lebenden Zustande festzuhalten vermag, mit Leichtigkeit austreten. So geben z. B. durch Verweilen in warmem Wasser getödtete Zellen aus rothen Rüben den in den Vacuolen vorhandenen Farbstoff sehr leicht ab.

Die Veränderungen, welche die Zellhäute unter dem Einfluss höherer Temperaturen erfahren, sind noch weniger genau bekannt als diejenigen, welche das Plasma unter denselben Umständen erleidet. Die Molekularstructur der Zellmembranen scheint allerdings durch höhere Temperaturen modificirt werden zu können, aber sichtbare Veränderungen derselben treten nur sehr selten hervor [1]).

Gerade so wie trockene Samen unter dem Einflusse der Kälte weniger leiden als gequollene, erfahren die ersteren auch viel gegeringere Schädigungen durch höhere Temperaturen als die letzteren. Je sorgfältiger die Samen ausgetrocknet werden, um so höhere Temperaturen können sie ertragen [2]), und wir haben ja gesehen, dass unter Umständen Wärmegrade über 120° C. noch von Samen überstanden werden.

Die Veränderungen, welche trockene Samen sowie Früchte unter dem Einflusse höherer Temperaturen erleiden, sind noch keineswegs genau studirt worden. Der Vernichtung der Lebensfähigkeit des Embryo durch hohe Temperaturen gehen auf jeden Fall Veränderungen der Molekularstructur der Zellenbestandtheile des Keimes selbst und der Reservestoffbehälter voran, und vielleicht liesse sich durch mikroskopische Untersuchung manches über das Wesen dieser Veränderungen ermitteln [3]).

Als eine der hervorragendsten Erscheinungen, die sich geltend macht, wenn Samen, höheren Temperaturen ausgesetzt, zwar gewisse Beschädigungen erfahren, die Keimfähigkeit aber noch nicht völlig einbüssen, ist diese anzusehen, dass ihre Kei-

---

1) Vergl. Sachs, Flora. 1864. S. 71.

2) Einige beachtenswerthe Angaben theilt in dieser Beziehung Just mit. Vgl. Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pflanzen. B. 2. S. 334.

3) In dem hier in Rede stehenden Zusammenhange ist noch zu bemerken, dass nach Heiden (vgl. dessen Dissertation über das Keimen der Gerste, 1859, S. 43) das Albumin der durch Hitze getödteten lufttrockenen Körner nicht unlöslich in Wasser wird. Trockenes Eiweiss verhält sich also höherer Temperatur gegenüber ganz anders als in Wasser gelöstes.

mungsenergie wesentlich deprimirt wird. Zwar ist Positives über die Ursachen dieses Phänomens nicht bekannt, aber mir scheint eine von Just in der zuletzt citirten Abhandlung desselben ausgesprochene Hypothese einige Wichtigkeit zu besitzen. Bekanntlich spielen Fermente zumal bei der Keimung amylumreicher Samen eine hervorragende Rolle. Bei Ausschluss von Wasser wird die Wirkungsfähigkeit dieser Fermente durch höhere Temperaturen kaum beeinträchtigt, dagegen kann man sich vorstellen, dass die Reservestoffe der Samen unter dem Einflusse höherer Temperaturen in einen Zustand übergehen, in welchem sie, wenn die Bedingungen zur Keimung später gegeben werden, nur schwierig unter Vermittelung der Fermente zur Auflösung gelangen. Den wachsenden Theilen des Embryo können in Folge dessen in der Zeiteinheit nur relativ geringe Quantitäten plastischer Stoffe zufliessen, und dies muss eine Verlängerung der Keimdauer nothwendig herbeiführen. Sehr wahrscheinlich steht ebenso die geringere Evolutionsintensität des Embryo erwärmter Samen in ferneren Stadien der Keimung mit den hier berührten Verhältnissen in innigster Beziehung.

Die merkwürdige Erscheinung, dass ein Erwärmen einiger lufttrockener Samenspecies auf hohe Temperatur eine Beschleunigung des Keimungsprocesses bedingt[1]), ist wohl durch die Annahme zu erklären, dass durch den Einfluss der Wärme Risse in der Samenschale entstehen, und somit der Quellungsprocess sowie die Entwickelung des Embryo in kürzerer Zeit als bei den nicht erwärmten Untersuchungsobjecten erfolgen kann. Allerdings kann sich die hier in Rede stehende Erscheinung nur bei solchen Samen geltend machen, die sich dem Einflusse höherer Temperaturen gegenüber überhaupt bis zu einem gewissen Grade unempfindlich erweisen.

Die Beobachtung von Just, dass Samen, wenn sie zunächst auf höhere Temperatur erwärmt worden sind, bedeutendere Schädigungen erfahren, wenn ihnen das zur Keimung nothwendige Wasser schnell zugeführt wird, als wenn sie dasselbe langsam empfangen, bedarf um so mehr der Bestätigung, als sie neuerdings von Just[2]) selbst und ebenso von Höhnel[3]) nicht mit

1) Ob das Erwärmen in diesen Fällen ebenso eine Steigerung der Evolutionsintensität des Embryo herbeiführt, ist noch fraglich.

2) Vgl. Just, Cohn's Beiträge zur Biologie d. Pflanzen. B. 2. S. 338.

3) Vgl. Höhnel: Wissenschl.-praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, herausgegeben von Fr. Haberlandt. B. 2. S. 88.

Sicherheit constatirt werden konnte. Sollten die älteren Angaben von Just dennoch richtig sein, so hätte man es hier mit einem Phänomen zu thun, welches ähnlichen entspricht, die man an den der Frostwirkung ausgesetzt gewesenen Pflanzen beobachten kann.

Drittes Capitel.

Die untere und obere Temperaturgrenze des Keimungsprocesses.

Jeder physiologische Process im vegetabilischen Organismus ist an ganz bestimmte Temperaturverhältnisse gebunden. Bei Temperaturen, die ein Gefrieren der Pflanzensäfte bedingen, machen sich in den Pflanzenzellen selbstverständlich keine Lebenserscheinungen geltend; dieselben äussern sich erst bei höheren Temperaturen. Und in demselben Sinne, wie wir berechtigt sind, von der unteren Temperaturgrenze eines physiologischen Vorganges zu reden, müssen wir auch von einer oberen sprechen.

Ich will von vornherein mit allem Nachdruck darauf aufmerksam machen, dass die untere sowie die obere Temperaturgrenze oder das Temperaturminimum und das Temperaturmaximum der physiologischen Processe in den Gewächsen keineswegs mit denjenigen Temperaturen zusammenfallen, welche, gemäss der in den beiden ersten Capiteln dieses Hauptabschnittes gemachten Angaben, die Lebensfähigkeit der Pflanze vernichten. Man kann Samen, wie wir gesehen haben, ohne ihre Lebensfähigkeit zu zerstören, auf Temperaturen unter 0° abkühlen oder auf 100° C. erwärmen. Unter solchen Verhältnissen ist an eine Keimung der Samen selbstverständlich nicht zu denken; dieselbe tritt aber ein, wenn die Untersuchungsobjecte nachträglich bei Gegenwart von Feuchtigkeit und Sauerstoff geeigneten Temperaturen ausgesetzt werden. Die Temperaturminima und die Temperaturmaxima der physiologischen Processe liegen, dies besitzt nicht nur ganz allgemeine Gültigkeit für die Keimung der Samen, sondern ebenso für die Entwickelung eines jeden Pflanzentheils, stets höher, respect. niedriger als die niedrigsten, respect. höchsten Temperaturgrade, welche überhaupt noch von den Gewächsen ertragen werden.

Ebenso ist es von fundamentaler Bedeutung, dass die Temperaturminima und Temperaturmaxima für verschiedene physiologische Processe durchaus nicht dieselben sind. Ja ein bestimmter

Vorgang ist bei verschiedenen Pflanzen und selbst im Verlaufe der Entwickelung ein und derselben Pflanze nicht an das gleiche Temperaturminimum oder Temperaturmaximum gebunden. Uebrigens liegen diesen letzteren merkwürdigen Verhältnissen, wie wir weiter unten noch specieller sehen werden, vielleicht secundäre Umstände zu Grunde.

Nach dem Gesagten kann es durchaus nicht genügen, einfach die niedrigste und die höchste Temperatur zu bestimmen, bei der die Entwickelung eines Gewächses überhaupt noch möglich ist; vielmehr hat die Physiologie die Aufgabe, für jeden der unzählich vielen Processe im vegetabilischen Organismus das Temperaturminimum sowie Maximum festzustellen. Allerdings sind wir heute noch sehr weit von der Lösung dieser schwierigen Aufgabe entfernt, aber es ist für uns von besonderer Wichtigkeit, dass gerade der Keimungsprocess der Samen in der hier in Rede stehenden Beziehung relativ genau studirt worden ist. Die bezüglichen Untersuchungen über die Minima und Maxima der Keimungstemperaturen sollen alsbald eingehender besprochen werden. Zunächst nur einige Bemerkungen über die Abhängigkeit anderweitiger Processe in der Pflanze von der Temperatur.

Die Strömung des Plasma in den Haaren von Cucurbita Pepo hört nach Sachs[1]) schon auf, wenn die Temperatur der umgebenden Luft auf 10—11° C. sinkt. In Wasser von 46—47° C. steht die Strömung binnen zwei Minuten still. Gelangen die Haare von Cucurbita Pepo in Wasser von 47—48° C., so hört die Plasmaströmung bereits nach einer Minute auf. In der Luft können die Haare von Cucurbita Pepo sowie diejenigen von Solanum Lycopersicum auf 49—50.5° C. erwärmt werden, ohne dass die Plasmaströmung stillsteht. Dagegen hört die Strömung in den Haaren der Filamente von Tradescantia in Luft von 49° C. binnen drei Minuten auf. Nach Velten[2]) hört die Plasmabewegung in den Stammzellen von Chara foetida bei 42.8° C., in den Stengelparenchymzellen von Valisneria spiralis bei 45° C. und in denjenigen von Elodea canadensis bei 39° C. auf. Aber Sachs constatirte schon, was Velten vollkommen bestätigt fand, dass das Aufhören der Bewegung des Plasma noch keineswegs auf eine Vernichtung desselben hindeutet. Allerdings genügt eine sehr unbedeutende Temperatursteigerung, um Plasma, welches sich im Zustande der Wärmestarre befindet, zu tödten; aber erfolgt

1) Vgl. Sachs, Flora. 1864. Nr. 3 und 5.
2) Vgl. Velten, Flora. 1876. S. 211.

diese Temperatursteigerung nicht, wird die Pflanzenzelle vielmehr aufs Neue niederen Temperaturen ausgesetzt, so beginnt die Bewegung des Plasma wiederum [1]).

Die niedrigste Temperatur, bei der die Chlorophyllkörner von Phaseolus multiflorus und Zea Mays noch ergrünen (am Licht), liegt nach Sachs [2]) bestimmt oberhalb 6° C. und wahrscheinlich unterhalb 15° C.; bei Brassica Napus und Sinapis alba bestimmt unterhalb 6° C. Das Temperaturmaximum für das Ergrünen der Chlorophyllkörner liegt für Phaseolus und Zea bestimmt oberhalb 33° C., für Allium Cepa oberhalb 36° C.

Da die Assimilation nur dann möglich ist, wenn das Chlorophyllkorn seine normale Ausbildung erfahren hat, so leuchtet a priori ein, dass das Temperaturminimum für den Assimilationsprocess einer bestimmten Pflanze niemals unterhalb des Temperaturminimums für den Vorgang des Ergrünens derselben Pflanze liegen kann. Ebenso kann das Temperaturmaximum für Assimilation dasjenige für den Ergrünungsprocess der Chlorophyllkörner nicht überschreiten. Wohl aber ist es von vornherein möglich, dass die höchste Temperatur, bei der ein bestimmtes Gewächs noch assimiliren kann, beträchtlich unterhalb des Temperaturmaximums für den Ergrünungsprocess der Chlorophyllkörner derselben Pflanze liegt.

Das Temperaturminimum für die Sauerstoffabscheidung im Licht liegt für Potamogeton bei 10° C., für Valisneria spiralis bei 8° C. [3]). Für die Sauerstoffabscheidung der Blätter von Hottonia palustris liegt das Temperaturminimum nach Heinrich [4]) bei 2.8° C., das Temperaturmaximum bei etwa 50° C.

Was die Abhängigkeit der Athmung der Pflanzen von der Temperatur anbelangt, so haben wir uns darüber bereits an anderer Stelle eingehender ausgesprochen. Hier wollen wir nur daran erinnern, dass Athmung und Längenwachsthum durchaus nicht zwei Processe repräsentiren, die durchaus parallel mit einander

---

1) Wir haben hier ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, dass das Temperaturmaximum für einen physiologischen Process unterhalb derjenigen Temperatur liegt, welche eine völlige Vernichtung des Pflanzentheils herbeiführt. Geräth das Plasma in den Zustand der vorübergehenden Wärmestarre, so zeigt es, ohne getödtet zu sein, durchaus keine Bewegungserscheinungen mehr.

2) Vgl. Sachs, Flora, 1864, Nr. 32 und Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen, S. 55. Sachs stellte seine Untersuchungen unter Benutzung etiolirter Keimpflanzen an.

3) Vgl. Sachs, Handbuch S. 55.

4) Vgl. Heinrich, Versuchsstationen. B. 13. S. 148.

verlaufen, denn die Athmung beginnt bei einer Temperatur von 0° C. und erlischt erst bei Wärmegraden, die ungefähr mit denjenigen zusammenfallen, welche die Lebensfähigkeit der Pflanzen überhaupt vernichten [1] [2].

Viel verwickelter als in den erwähnten Fällen gestaltet sich die Aufgabe für die Physiologie, die Temperaturminima und Maxima für die sich im vegetabilischen Organismus abwickelnden Processe festzustellen, wenn man solche Vorgänge ins Auge fasst, die viele andere zu ihrer Voraussetzung haben. Bestimmt man z. B. die Minima der Keimungstemperaturen verschiedener Samen, also die Temperaturminima für die ersten Wachsthumsstadien des Embryo dieser Samen, und findet man, dass sich in dieser Beziehung bedeutende Verschiedenartigkeiten ergeben, so ist damit noch keineswegs sicher erwiesen, dass die Temperaturminima für das Wachsthum verschiedener Embryonen thatsächlich nicht dieselben sind. Es ist a priori möglich, dass das Wachsthum der Embryonen an sich in allen Fällen bei derselben niedrigen Temperatur beginnen kann, und dass dies nur in Folge secundärer Umstände thatsächlich nicht geschieht. Man kann sich nämlich vorstellen, dass sich die das Wachsthum des Embryo überhaupt erst ermöglichenden Processe bei der Keimung eines Samen bereits bei niederer Temperatur als bei derjenigen eines anderen geltend machen, und es müssten also in diesem Falle die unmittelbar bei den Beobachtungen über die Minima der Keimungstemperaturen gewonnenen Resultate eine ganz andere Deutung erfahren, als dies thatsächlich bisher geschehen ist. Uebrigens will ich mit dem Gesagten nur eine Meinung ausgesprochen haben, die, wie mir scheint, Beachtung verdient, allerdings aber vor der Hand nicht weiter begründet werden kann [3]. Es bleibt zunächst noch immer gerechtfertigt, einfach und ohne Rücksicht auf specielle physiologische Processe von den Minima der Keimungstemperaren etc. zu reden.

Ebenso ist es höchst merkwürdig, dass ein und derselbe physiologische Process während der verschiedenen Entwickelungssta-

1) Vgl. hierüber A. Mayer, Versuchsstationen. B. 19. S. 346.

2) Es verdient die Frage speciellere Berücksichtigung, ob das Temperaturmaximum für den Athmungsprocess mit demjenigen für die Bewegung des Plasma zusammenfällt, oder ob die Pflanzenzellen ebenso noch athmen, wenn das Plasma den Zustand der Wärmestarre angenommen hat.

3) Möglich ist es übrigens, dass die Temperaturminima für das Wachsthum verschiedener Embryonen an sich thatsächlich nicht dieselben sind.

dien ein und desselben Organismus nicht an dasselbe Temperaturminimum gebunden scheint. Wenn kleine Samen, z. B. von Cruciferen und Gramineen, in der Nähe der Temperaturminima angefangen haben zu keimen, so sind sie im Stande, auch bei dieser niederen Temperatur (5—7.5 ° C.) sämmtliche Keimtheile zur vollständigen Entwickelung zu bringen; ist dies aber erreicht, so wachsen sie allerdings bei jener niederen Temperatur nicht weiter. Dieser Beobachtung von Sachs[1]) steht eine andere desselben Forschers gegenüber. Wenn nämlich grosse Samen (Mais, Bohnen, Kürbis) bei Temperaturen keimen, die ihrem Minimum sehr nahe liegen (10—14 ° C.), so entfalten sich die Keimlinge nicht normal, und zumal bilden sich die Primordialblätter gar nicht oder nur kümmerlich aus. Erfolgt die Keimung der zuletzt genannten Samen aber bei Temperaturen, die 5—6 ° C. höher liegen als das Temperaturminimum, so entwickeln sich die genannten Organe stets ganz vollkommen. Weiterhin, wenn die selbstständige Entwickelung der Pflanze beginnen soll, tritt stets eine Pause in der Ausbildung des Organismus ein; aber während diese Pause bei einer Temperatur von 10—14 + 5—6 = 15—20 ° C. sehr lange hinausgezogen werden kann, umfasst sie bei 19—25 ° C. nur wenige Tage. Somit ergiebt sich, dass die Entwickelung einer Keimpflanze, welche ihre Evolution bei niederer Temperatur begonnen hat, nur dann normal und rasch fortschreitet, wenn die Temperatur fortdauernd steigt. Die Ursache dieser Erscheinung kann entweder darin liegen, dass der Wachsthumsprocess selbst während der einzelnen Entwickelungsstadien des Organismus von der Temperatur in verschiedenartiger Weise beeinflusst wird; andererseits liegt aber auch die Möglichkeit vor, dass das Wachsthum während der späteren Entwickelungsstadien der Pflanzen nur deshalb erst bei höheren Temperaturen erfolgt, weil anderweitige Processe, die das Wachsthum jetzt überhaupt erst ermöglichen, an diese beträchtlicheren Wärmegrade gebunden sind. So ist es z. B. für einen speciellen Fall wohl denkbar, dass das Wachsthum einer entwickelteren Pflanze bei niederer Temperatur ausgiebig genug erfolgen könnte, wenn nur genügende Quantitäten plastischer Stoffe vorhanden wären. Wenn sich das Wachsthum unter diesen Umständen dennoch nicht geltend macht, so kann dies seinen Grund in ungenügender Assimilation haben. Eine Steigerung der Temperatur müsste in unserem Falle eine Beschleunigung der

---

1) Vgl. Sachs, Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschl. Botanik. B. 2. S. 365.

Bildung organischer Substanz und somit indirect ebenso eine Beschleunigung des Wachsthumsprocesses herbeiführen [1]).

Man sieht, dass der Forschung hier noch ein weites Gebiet offen steht. Ich begnüge mich mit den vorstehenden Andeutungen, die, wie ich allerdings meine, bei der Beurtheilung der Resultate, zu denen man bis jetzt beim Studium der Abhängigkeit des Keimprocesses von der Temperatur gelangt ist, Berücksichtigung finden müssen.

Das Princip der Methode, die man bei der Feststellung der Minima und Maxima der Keimungstemperaturen zu benutzen hat, ist höchst einfach. Man setzt die Samen z. B. zunächst unter den geeigneten Umständen einer constanten Temperatur von 1° C. aus und beobachtet, ob sämmtliche Samen oder wenigstens einige derselben unter diesen Verhältnissen zum Keimen gelangen. Ist dies nicht der Fall, so wiederholt man das Experiment bei einer constanten Temperatur von 2° C. u. s. w. u. s. w. Schliesslich gelangt man auf diese Weise zu einer Temperatur, bei der das Untersuchungsmaterial keimt, und dieser Wärmegrad ist dann als Temperaturminimum anzusehen. Die Methode zur Feststellung der Maxima der Keimungstemperaturen bedarf nach dem Gesagten keiner besonderen Besprechung [2]).

Es ist nun aber zu bemerken, dass sich der Anwendbarkeit der erwähnten Methode leider ungemein grosse Schwierigkeiten in den Weg stellen. Vor allen Dingen ist nämlich zu betonen, dass es noch immer nicht leicht ist, trotzdem man neuerdings der Construction brauchbarer und mit guten Thermoregulatoren versehener Thermostaten seine besondere Aufmerksamkeit zugewandt hat, Räume herzustellen, in denen lange Zeit hindurch eine ganz constante Temperatur herrscht. Zumal fällt dieser Umstand

---

1) In seiner citirten Abhandlung macht Sachs, was hier noch Erwähnung finden mag, noch darauf aufmerksam, dass die Blüthenentwicklung mancher Pflanzen an niedrere Temperaturen gebunden zu sein scheint, als die Ausbildung der Vegetationsorgane. So z. B. entwickeln unsere Getreidearten im tropischen Klima keine Blüthen, sondern produciren nur Stengel und Blätter. In den Tropen beschränkt sich daher die Cultur unserer Getreidearten nur auf die kühleren Hochebenen.

2) Ich will hier sogleich bemerken, dass bei der Ausführung solcher Untersuchungen, welche den Zweck haben, die Minima und Maxima der Keimungstemperaturen festzustellen, sehr häufig viele Samenindividuen überhaupt nicht keimen, sondern zu Grunde gehen, während sie unter günstigeren Temperaturverhältnissen sämmtlich oder fast sämmtlich zur Entwickelung gelangen.

bei der Feststellung der Temperaturminima ins Gewicht, denn die Samen brauchen bekanntlich oft mehrere Wochen, um bei niederer Temperatur zu keimen.

Die thatsächlich existirenden grossen Schwierigkeiten, welche sich der experimentellen Behandlung der Frage nach der Abhängigkeit der Vegetationsprocesse von der Temperatur entgegenstellen, bedingen es, dass wohl sämmtliche in dieser Beziehung ermittelten Werthe mit grösseren oder geringeren Fehlern behaftet sind. Die meisten der vorliegenden Zahlen über die Minima und Maxima der Keimungstemperaturen können nur als annäherungsweise richtige angesehen werden, und es ist von Wichtigkeit, dies bei der Beurtheilung derselben nicht aus dem Auge zu verlieren.

Trotzdem aber ist es als ein sehr bedeutender Fortschritt der Physiologie anzusehen, dass man sich in neuerer Zeit, namentlich auf Anregung von Sachs, bemüht hat, dem hier in Rede stehenden Gegenstande auf experimentellem Wege näher zu treten; nur dieser Weg kann schliesslich zu dem erwünschten Ziele führen. Früher glaubte man z. B. die Minima der Keimungstemperaturen dadurch feststellen zu können, dass man die mittlere Temperatur desjenigen Monats bestimmte, in welchem die Keimung eines Samen im Freien überhaupt schon erfolgt [1]). Es liegt auf der Hand, dass diese Methode nicht zu genauen Resultaten führen kann, und ich will nur erwähnen, dass bei der Berechnung der Temperaturmittel wohl immer solche Wärmegrade mit in Berücksichtigung gezogen werden mussten, welche, da sie unterhalb der Minima der Keimungstemperaturen lagen, von keiner Bedeutung für die Evolution des Embryo sein konnten.

Indem ich nunmehr dazu übergehe, die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen über die Minima und Maxima der Keimungstemperaturen mitzutheilen, ist zunächst auf eine sehr beachtenswerthe Arbeit von Sachs [2]) hinzuweisen.

Sachs säete die Samen in Erde aus, die sich in Blumentöpfen befand und setzte die Untersuchungsobjecte nunmehr längere Zeit verschiedenen Temperaturen aus. Namentlich wurde noch Sorge dafür getragen, dass das Bodenmaterial stets gleichmässig durchfeuchtet blieb, und dass es ferner nicht an dem für die Entwickelung der Keimpflanzen so nothwendigen Sauerstoffe mangelte.

1) Man vergl. z. B. Heiden: Das Keimen der Gerste. 1859. S. 32.

3) Vgl. Sachs, Pringsheim's Jahrbücher für wissenschl. Botanik. B. 2. S. 338.

Die Temperaturen, bei denen die Keimung der Samen erfolgte, konnte Sachs nicht ganz constant erhalten; sie schwankten vielmehr innerhalb nicht sehr enger Grenzen (Schwankung etwa 3—5° C.). Der Experimentator war sich der Fehler, mit denen die Resultate seiner Untersuchungen in Folge dessen behaftet sein mussten, wohl bewusst, und er weist selbst mit Nachdruck auf dieselben hin. Trotzdem verdienen die folgenden Angaben von Sachs über die Minima sowie Maxima der Keimungstemperaturen einiger Samen unsere volle Beachtung:

	Minimum.	Maximum.
Zea Mays [1])	9.4° C.	46.2° C.
Phaseolus multiflorus	9.4° „	46.2° „
Cucurbita Pepo	14.0° „	46.2° „
Weizen	5.0° „	42.5° „
Gerste	5.0° „	37.5° „ [2]).

Zur Beurtheilung der Resultate, welche Fr. Haberlandt [3]) bei der Ausführung seiner Untersuchungen über die Minima der Keimungstemperaturen ermittelt hat, sind die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Angaben zunächst von Bedeutung:

	Die Keimung erfolgte mit dem ersten Sichtbarwerden des Würzelchens in Tagen bei			
	4.8° C.	10.5° C.	15.6° C.	18.5° C.
Winterweizen	6	3	2	1.75
Sommerweizen	6	4	2	1.75
Winterroggen	4	2.5	1	1
Sommerroggen	4.5	2	1.5	1
Wintergerste	6	3	2	1.75
Sommergerste	6	3	2	1.75
Sommerrispenhafer	7	3.75	2.75	2
Mais	—	11.25	3.25	3
Gem. Moorhirse	—	11.5	4.75	4
Zuckermoorhirse	—	25	7.25	6
Rispenmoorhirse	—	13.25	3.25	3
Mohar	24	7.5	2.75	2
Engl. Raygras	10	5.5	3.75	3
Franz. Raygras	9	7.5	4.5	3
Lischgras	—	6.5	3.25	3
Gem. Hauslauch	10	5.75	3.5	2.75
Gem. Spinat	9	5.75	3.25	3.25

1) Bei der Ausführung der Untersuchungen über das Minimum der Keimungstemperatur des Mais entwickelten sich z. B. von 10 Körnern bei einer mittleren Temperatur von 9.4° C. nur 5; die übrigen gingen zu Grunde.

2) Nach Angabe von Just (vgl. Cohn's Beiträge zur Biologie der Pflanzen, B. 2, S. 324) liegt das Maximum der Keimungstemperatur der Gerste bei 37—38° C., dasjenige des Hafers bei 37—38.5° C.

3) Vgl. Fr. Haberlandt, Versuchsstationen. B. 17. S. 104.

	Die Keimung erfolgte mit dem ersten Sichtbarwerden des Würzelchens in Tagen bei			
	4.8° C.	10.5° C.	15.6° C.	18.5° C.
Zuckerrübe	22	9	3.75	3.75
Buchweizen	8	4.5	3.5	3
Gem. Hanf	3	2	1	1
Sonnenblume	—	25	3	2
Paradiesapfel	—	—	6	3.25
Tabak	—	—	9	6.25
Raps	6	2	1	1
Stoppelrübe	8	4	2	1.75
Weisser Senf	2	1.5	1	0.75
Gartenkresse	9.5	3	2.75	2.25
Leindotter	4	2	1.5	1
Mohn	10	4.75	2.5	2
Lein	8	4.5	2	2
Kümmel	—	16.5	6.5	5.25
Möhre	—	6.75	4.25	3.25
Kürbis	—	—	10.75	4
Gurke	—	—	—	4.5
Melone	—	—	—	17
Bibernelle	—	9.5	5	4
Rothklee	7.5	3	1.75	1
Luzerne	6	3.75	2.75	2
Hopfenluzerne	10	7.5	4	3.5
Esparsette	—	7.25	3.5	3
Gem. Küchenerbse	9	5.5	3.5	2.25
Gem. Platterbse	7	3.5	2.75	2.25
Saubohne	7	6.5	4.75	4.25
Futterwicke	6	5	2	2
Weisse Wolfsbohne	5	3.25	2.75	2.5
Linse	6	4	2	1.75
Erbse	5	3	1.75	1.75
Fisole	—	3	3	2.75

Wie man sieht, keimen die meisten Samen schon bei einer Temperatur von 4.8° C. Sie besitzen daher eine tiefer liegende Temperaturgrenze für das Keimen. Hiervon machen nur der Mais, die Moorhirse, die Rispenhirse, der Mohar, das Lischgras, die Sonnenblume, der Paradiesapfel, der Tabak, der Kümmel, die Möhre, der Kürbis, die Gurke, die Zuckermelone, die Bibernelle, die Esparsette und die Fisole eine Ausnahme.

Von denjenigen Samen, deren Temperaturminimum höher liegt als 4.8° C., keimen selbst bei 10.5° C. noch nicht: der Paradiesapfel, der Tabak, der Kürbis, die Gurke und die Zuckermelone, während das Minimum der Keimungstemperatur für die übrigen der vorgenannten Samen zwischen 4.8 und 10.5° C. liegen muss.

Bei 15.6° C. keimten nur die Gurke und die Zuckermelone noch nicht. Zwischen 10.5 und 15.6° C. aber haben ihr Minimum der Keimungstemperatur: der Paradiesapfel, der Tabak und der Kürbis. Die Melonen- sowie Gurkensamen keimten bei 18.5° C.

sehr langsam, und das Minimum der Keimungstemperatur liegt für dieselben also zwischen 15.6 und 18.5° C.

Haberlandt theilt in der citirten Arbeit ebenso die Resultate mit, welche er über die Maxima der Keimungstemperaturen sehr verschiedener Samen ermitteln konnte. Die Untersuchungsobjecte entwickelten sich in einem Thermostaten. Die Schwankungen der Temperatur im Apparat betrugen während der Versuchszeit höchstens 2° C. Die Keimung der Samen erfolgte bei verschiedenen, möglichst constanten Temperaturen, um auf diese Weise die Maxima der Keimungstemperaturen feststellen zu können.

In der folgenden Tabelle theilen wir die Ergebnisse einiger Untersuchungen Haberlandt's über die höchsten Temperaturen, bei denen die Keimung überhaupt noch erfolgt, mit. Daneben sind die Minima sowie die Optima der Keimungstemperaturen einiger Samen angegeben [1]):

	Minimum zwischen ° C.	Optimum zwischen ° C.	Maximum zwischen ° C.
Weizen	0 — 4.8	25—31	31—37
Roggen	0 — 4.8	25—31	31—37
Gerste	0 — 4.8	25—31	31—37
Hafer	0 — 4.8	25—31	31—37
Mais	4.8—10.5	37—44	44—50
Rispenhirse	4.8—10.5	37—44	44—50
Moorhirse	4.8—10.5	37—44	44—50
Mohar	0 — 4.8	—	44—50
Hanf	0 — 4.8	37—44	44—50
Buchweizen	0 — 4.8	25—31	37—44
Sonnenblume	4.8—10.5	31—37	37—44
Zuckermelone	15.6—18.5	31—37	44—50
Raps	0 — 4.8	—	37—44
Kopfkohl	—	25—31	31—37
Lein	0 — 4.8	25—31	31—37
Rothklee	0 — 4.8	31—37	37—44
Luzerne	0 — 4.8	31—37	37—44
Erbse	0 — 4.8	25—31	31—37
Koriander	—	16—25	25—31
Majoran	—	16—25	25—31
Kürbis	10.5—15.6	37—44	44—50
Gurke	15.6—18.5	31—37	44—50

1) Als Optimum der Keimungstemperatur ist bekanntlich derjenige Wärmegrad anzusehen, bei dem die Entwickelung des Embryo am schnellsten stattfindet.

Wenngleich die vorstehenden Werthe die Minima, Optima und Maxima der Keimungstemperaturen auch nur annähernd richtig zum Ausdruck bringen, so lassen dieselben dennoch verschiedenartige Verhältnisse klar hervortreten. Zunächst will ich bemerken, dass verschiedene Samenspecies aus ein und derselben natürlichen Pflanzenfamilie durchaus nicht immer dieselben Minima, Optima sowie Maxima der Keimungstemperaturen besitzen. Ebenso gelingt es nicht, gewisse Relationen zwischen den Minima, Optima sowie Maxima der Keimungstemperaturen und der chemischen Zusammensetzung der Samen aufzufinden; das Temperaturmaximum für die Keimung amylumreicher Samen liegt z. B. in einigen Fällen sehr hoch, in anderen niedriger und für verschiedene fettreiche Samen bestehen dieselben Differenzen.

Als drei principiell wichtige, positive Resultate der angeführten Untersuchungen sind aber die folgenden anzusehen:

1. Liegt das Minimum der Keimungstemperatur hoch, so liegen ebenso das Optimum und das Maximum der Keimungstemperatur hoch; einem niedriger liegenden Minimum entspricht auch ein niedriger liegendes Optimum und Maximum.

2. Die Differenz zwischen dem Minimum und dem Optimum der Keimungstemperatur (in ° C. ausgedrückt) ist stets viel beträchtlicher als diejenige zwischen dem Optimum und dem Maximum.

3. Wärmegrade über dem Temperaturoptimum für den Keimungsprocess, beeinträchtigen die Keimungsenergie der Samen.

Auch Sachs hat schon in seiner citirten Arbeit über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur auf die hier berührten Verhältnisse hingewiesen. Zur Vervollständigung des bereits Mitgetheilten, sei hier noch erwähnt, dass die Optima der Keimungstemperaturen nach Sachs für Zea Mays, Phaseolus multiflorus und Cucurbita Pepo bei 34° C., für Weizen und Gerste aber bei 29° C. liegen.

Die Resultate der unter Zuhülfenahme eines Thermostaten mit Thermoregulator von Tietz[1]) über die Keimung einiger Coniferen und Laubhölzer ausgeführten Untersuchungen lassen die hier in Rede stehenden Beziehungen zwischen den Minima, Optima und Maxima der Keimungstemperaturen ebenfalls deutlich hervortreten.

---

1) Vgl. Tietz: Ueber die Keimung einiger Coniferen und Laubhölzer. Inaugural-Dissertation. S. 29.

Der genannte Beobachter gelangte nämlich zu den folgenden Ergebnissen:

	Minimum	Optimum	Maximum
	der Keimungstemperatur in ° C.		
Acer platanoides	7—8	24	26
Alnus glutinosa	7—8	26	33
Fraxinus excelsior	7—8	25—26	—
Larix europaea	7—8	27	34
Pinus picea	7—8	27	35
Pinus sylvestris	7—8	27	34
Gleditschia	9	28	36 [1]).

Wir haben bereits erwähnt, dass es zumal mit Schwierigkeiten verbunden ist, die Minima der Keimungstemperaturen der Samen genau festzustellen, und dass die bezüglichen Angaben in Folge dessen ganz bestimmt mit ziemlich beträchtlichen Fehlern behaftet sind. In der That scheint das Minimum der Keimungstemperatur für manche Samen erheblich tiefer zu liegen, als man bisher anzunehmen pflegte.

So beobachtete Uloth [2]) schon vor längerer Zeit, dass Samen von Acer platanoides und Triticum, welche zufällig zusammen mit Eisblöcken in einen Eiskeller gerathen waren, zwischen diesen keimten. Die durchaus normal entwickelten Keimpflanzen hatten ihre Würzelchen in das Eis eingesenkt, und namentlich hatten die langen, fadenförmigen Nebenwurzeln von Triticum Eisstücke von nicht unerheblicher Dicke durchbohrt. Auf jeden Fall scheint aus diesen Beobachtungen hervorzugehen, dass das Minimum der Keimungstemperatur mancher Samen beträchtlich tiefer liegt als bei + 4—5° C. und Uloth fand sich deshalb veranlasst, dem Gegenstande fernerhin seine specielle Aufmerksamkeit zuzuwenden [3]).

1) Es sei hier noch bemerkt, dass die Minima, Optima und Maxima der Keimungstemperaturen ein und derselben Samenart (zumal Fichtensamen) nach Kienitz (vgl. erstes Heft des zweiten Bandes der von J. N. C. Müller herausgegebenen botan. Untersuchungen) bald höher, bald niedriger liegen können, und dass diese Erscheinungen nach des genannten Beobachters Untersuchungen ihre Ursachen in Anpassungsverhältnissen der Samen an die klimatischen Zustände der Gegenden, in denen sie erzeugt wurden, haben sollen. Auf jeden Fall ist es aber, um die hier berührten interessanten Verhältnisse genauer beurtheilen zu können, zunächst erforderlich, eingehendere experimentelle Forschungen zur Klarstellung derselben vorzunehmen.

2) Vgl. Uloth, Flora. 1871. N. 12.

3) Vgl. Uloth, Flora. 1875. S. 266.

Im Winter 1871/72 und 1872/73 wurden verschiedene Samen in Eis in folgender Weise ausgesäet. Uloth liess in zwei Kisten je einen Eisblock einfrieren, stellte auf diesen etwa 4 Mm. weite Rinnen her und säete dann die Samen in die Rinnen aus. Die Kisten wurden mit Eisplatten bedeckt und in verschiedene Eiskeller gestellt. Ebenso wurden Samen in Erde, die sich in Kisten befand, ausgesäet, um auch diese Kisten mit Eisplatten zu bedecken und in den Eiskellern aufzustellen. Bei dem Einsetzen der Kisten in die Eiskeller wurde besonders darauf gesehen, dass rings um dieselben herum eine dicke Eisschicht jede Temperaturerhöhung möglichst verhinderte. Die Kisten verweilten drei bis vier Monate lang in den Eiskellern; als Untersuchungsobjecte wurden die folgenden Samenarten verwandt:

Papaver alpinum, Scutellina alpina, Gentiana lutea, Lepidium sativum, Brassica Napus, Sinapis alba, Daucus Carota, Pisum sativum, Arnica montana, Avena sativa, Secale cereale etc.

Es zeigte sich nun in der That, dass ein beträchtlicher Theil der ausgesäcten Samen keimte; namentlich entwickelten sich die Samen der benutzten Gramineen und Cruciferen. Von den angewandten Untersuchungsobjecten hatten die in Eis und die in Erde ausgesäeten in ziemlich gleicher Zahl gekeimt. Die Würzelchen waren ebenso in das Eis eingedrungen, wie dies bereits für die Würzelchen der Keimpflanzen von Acer sowie Triticum früher beobachtet werden konnte. Diejenigen Samen, welche überhaupt nicht keimten, lagen gefault auf dem Eise oder der Erde.

Sachs[1]) sucht die Erscheinung des Eindringens der Wurzeln in das Eis durch den Hinweis darauf zu erklären, dass das Eis von wärmeren Körpern (den Wänden der Keller) umgeben war, die demselben Wärmestrahlen zusandten. Es ist nämlich bekannt, dass Wärmestrahlen, wenn sie Eismassen treffen, in das Innere derselben eindringen und nun eine Erwärmung eventuell im Eise vorhandener fremder Körper (Luftblasen, eingefrorene Pflanzentheile etc.) herbeiführen können. Dies muss dann ein Schmelzen des die eingefrorenen Körper unmittelbar umgebenden Eises zur Folge haben. Es ist allerdings möglich, die Resultate der Untersuchungen Uloth's auf die angegebene Weise zu erklären; aber dennoch erscheint es nicht geboten, die Anschauungsweise von Sachs zu theilen. Uloth macht nämlich in seiner Abhandlung vom Jahre 1875, die also noch nicht erschienen war, als Sachs

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 1874. S. 698.

die vierte Auflage seines Lehrbuches herausgab, besonders auf das Nachstehende aufmerksam.

Die zwischen den keimenden Samen und den Kellerwänden vorhandene Eismasse war eine so beträchtliche, dass wohl kaum eine wirksame Wärmemenge zu den keimenden Samen dringen konnte; angenommen aber, dies wäre dennoch der Fall gewesen, dann würden gewiss auch andere feste Körper, die in das Eis eingefroren waren, wie Strohhalme, Holzstückchen, sowie die nicht zur Keimung gekommenen Samen, erwärmt und tiefer in das Eis hineingesunken sein. Indessen war hiervon nichts wahrzunehmen.

Die Erscheinung, dass die Samen im Eise überhaupt keimten, und dass die Wurzeln in das Eis eindrangen, scheint mir, wie Uloth dies ebenso will, nur in folgender Weise erklärt werden zu können. Die lufttrockenen Samen nahmen zunächst Feuchtigkeit auf [1]); dadurch wurden chemische Processe in denselben angeregt, und das Stattfinden derselben, namentlich dasjenige des Respirationsprocesses, musste zu einer Freiwerdung von Wärme führen. Die Samen besassen in Folge dessen eine etwas höhere Temperatur als ihre Umgebung, und indem dies Verhältniss während der allerdings sehr langsamen Entwickelung des Embryo bestehen blieb, musste das Eis an denjenigen Stellen, an welchen es sich mit den Untersuchungsobjecten in Contact befand, geschmolzen werden, so dass die Wurzeln der Keimpflanzen unbehindert vordringen konnten [2]).

Ueber die Temperatur, welche im Innern der Samen herrschte, und bei der die Keimung der Samen thatsächlich erfolgte, geben die Resultate der Untersuchungen Uloth's keinen genauen Aufschluss. Es ist von vornherein möglich, dass der Keimungsprocess selbst bei 0° sehr langsam verläuft, denn ein Erstarren der in den Samen vorhandenen Flüssigkeit zu Eis braucht bei dieser Temperatur aus bereits früher angegebenen Gründen nicht nothwendig einzutreten. Mit Bestimmtheit lehren Uloth's Beobachtungen allerdings nur so viel, dass das Minimum der Keimungstemperatur mancher Samen erheblich tiefer liegt, als man bisher angenommen hatte. Zu einem gleichen Resultate gelangte auch

---

1) Einer Feuchtigkeitsaufnahme seitens der Samen stellten sich unter den angegebenen Verhältnissen aus leicht verständlichen Gründen keine besonderen Schwierigkeiten entgegen.

2) Nach Uloth soll auch der Druck, den die Wurzeln auf das Eis ausübten, das Eindringen derselben in das Eis begünstigt haben. Dies erscheint mir übrigens sehr unwahrscheinlich.

Kerner[1]) bei seinen Untersuchungen über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur. In richtiger Würdigung des Umstandes, dass es sehr schwierig ist, künstlich einen Raum herzustellen, in welchem während langer Zeit constant dieselbe niedere Temperatur herrscht, benutzt Kerner als Medium mehrere kalte Quellen der zum Innthal abfallenden Berggehänge, deren Temperatur innerhalb zweier Monate höchstens um einige Hundertel eines Grades differirt. In diese Quellen wurden mit entsprechender Vorsicht Glasröhren eingesenkt, deren unterer Theil mit Erde und der zur Untersuchung bestimmten Samen angefüllt worden war. Bei diesen Versuchen ergab sich, dass die Temperatur, bei welcher das Wachsthum der Keimtheile beginnt, in vielen Fällen, zumal für die meisten Alpenflanzen, unterhalb + 2° C. liegt[2]).

Schliesslich verdienen noch die Ergebnisse gewisser Untersuchungen F. Haberlandt's in dem hier in Rede stehenden Zusammenhange Beachtung[3]). Derselbe brachte sehr verschiedene Samen zwischen befeuchteten Flanellfleckchen in einen mit schlechten Wärmeleitern umgebenen Eiskasten, dessen Doppelwände fortwährend mit Schnee oder Eis erfüllt, den Innenraum auf einer Temperatur erhielt, welche nur zwischen 0 bis + 1° C. schwankte. Die 4 Monate lang fortgeführten Beobachtungen Haberlandt's führten namentlich zu den folgenden Ergebnissen:

1. Gar nicht zum Keimen gelangte: Weizen, Gerste, Hafer, das französische sowie englische Raygras, der gemeine und tatarische Buchweizen, die Runkelrübe, der Raps und Rübsen, die Stoppelrübe, der Mohn, der Lein, Spargel, der Weissklee, die Bohne.

2. Ueber die ersten Stadien der Keimung vermochten nicht hinauszukommen: der Roggen, der Hanf, die Wicke und die Erbse.

3. Dagegen zeigten ein langdauerndes Längenwachsthum der

---

1) Vgl. Kerner: Botan. Zeitung. 1873. S. 437.

2) Kerner giebt auch an, dass manche Alpenpflanzen unter einer Schneedecke zu wachsen und zu blühen vermögen. Bei der Beurtheilung derartiger Verhältnisse ist vor allen Dingen nicht ausser Acht zu lassen, dass den Pflanzen durch Leitung sowie durch Strahlung Wärme zugeführt werden kann, und dass ihre Temperatur ferner in Folge der Freiwerdung von Eigenwärme erhöht werden muss.

3) Vgl. F. Haberlandt: Wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete d. Pflanzenbaues. B. 1. S. 109.

Würzelchen: der Senf und der Leindotter, der Bastardklee, der Rothklee und die Luzerne[1]).

Es darf nicht übersehen werden, dass bei der Keimung der Samen in Folge chemischer Processe Wärme frei werden musste, aber wir irren gewiss nicht, wenn wir annehmen, dass die Eigenwärme die Temperatur der Untersuchungsobjecte selbst nur sehr wenig beeinflusste[2]). Danach kann nicht mehr daran gezweifelt werden, dass das Minimum der Keimungstemperatur mancher Samen bei 1° C. (wahrscheinlich noch tiefer) liegt, während der Embryo anderer Samen seine Entwickelung allerdings erst bei höheren Temperaturen beginnt[3]).

Viertes Capitel.

Abhängigkeit des Keimungsprocesses von verschiedenen Temperaturen innerhalb der Grenzwerthe.

Vor allen Dingen ist dies Ergebniss der bisherigen Forschungen über den Einfluss der Wärme auf das Pflanzenleben hier für uns von fundamentaler Bedeutung, dass jeder physiologische Process im vegetabilischen Organismus in seiner Intensität gefördert wird, wenn die Temperatur, von der unteren Grenze (dem Minimum) beginnend, steigt. Bei einer bestimmten Temperatur (dem Optimum) ist die Intensität, mit der sich die physiologischen Processe geltend machen, am grössten; fernere Temperatursteigerung wirkt aber nicht weiter beschleunigend, sondern im Gegentheil retardirend auf den Verlauf der Vorgänge in den Pflanzen ein, bis dieselben endlich bei der oberen Temperaturgrenze (dem Maximum) vollkommen stillstehen.

Es würde aber durchaus irrig sein zu glauben, dass die Temperatur die verschiedenartigen elementaren physiologischen Processe, die sich zu gleicher Zeit neben einander in einer be-

---

1) Weshalb sich einige Samenspecies bei der Ausführung der Untersuchungen Uloth's einerseits und Haberlandt's andererseits verschiedenartig verhielten, ist nicht mit Bestimmtheit anzugeben.

2) Eine irgend wie erheblichere Temperatursteigerung der Samen in Folge des Freiwerdens der Eigenwärme konnte schon deshalb nicht erfolgen, weil die Umgebung der Untersuchungsobjecte diesen die Wärme sofort entziehen musste.

3) Zu bemerken ist noch, dass die Samen, welche nicht keimten, nach Abschluss der Versuche reichlich mit Penicillium glaucum und Bacterien bedeckt waren. Daraus erhellt, dass das Temperaturminimum für das Wachsthum dieser Pilze bestimmt bei einer Temperatur liegt, die sich nur wenig über 0° erhebt.

stimmten Pflanze geltend machen, in derselben Weise beeinflusst. Vielmehr hat man durch Beobachtungen feststellen können, dass z. B. die Temperaturoptima für verschiedene physiologische Vorgänge in demselben Organismus nicht durch gleiche Wärmegrade zum Ausdruck gelangen, und dass ferner z. B. eine Function in der Pflanze bei niederen oder höheren Temperaturen schon erloschen sein kann, während sich andere noch geltend machen. So haben wir in einem ganz anderen Zusammenhange hervorgehoben, dass der Wachsthumsprocess bereits bei Temperaturen erlischt, welche die Vorgänge der Pflanzenathmung noch keineswegs zum Stillstande bringen. Ebenso verdient hier die Thatsache Beachtung, dass selbst innerhalb derjenigen Temperaturen, welche das Wachsthum überhaupt ermöglichen, häufig genug kein Parallelismus zwischen diesem Processe einerseits und der Athmung andererseits besteht. Während z. B. die Ueberschreitung eines bestimmten Temperaturgrades (des Optimum) retardirend auf das Wachsthum einwirkt, wird die Intensität der Athmung durch dieselbe Ueberschreitung nur noch gesteigert. Würde man es versuchen, die Abhängigkeit der einzelnen elementaren physiologischen Processe im Organismus von der Temperatur graphisch darzustellen, so müsste man, wie bereits die wenigen vorstehenden Angaben deutlich genug zeigen, Curven erhalten, welche keineswegs sämmtlich denselben Verlauf besässen. Für die Beurtheilung mancher Verhältnisse ist es von grosser Wichtigkeit, das soeben Gesagte scharf im Auge zu behalten.

Suchen wir die an die Spitze dieses Capitels gestellten Sätze etwas näher zu begründen, so ist zu bemerken, dass die experimentellen Forschungen über die in Rede stehenden Gegenstände zwar noch nicht sehr weit gediehen sind, dass aber die Ergebnisse derselben das principiell Wichtige immerhin deutlich genug hervortreten lassen [1]).

Die Abhängigkeit der Bewegung des Plasma von der Temperatur ist bereits mehrfach studirt worden [2]), und es hat sich dabei ergeben, dass die Geschwindigkeit der Bewegung zunächst bei

---

1) Es würde eine sehr dankenswerthe Aufgabe sein, den Einfluss der Temperatur auf den Verlauf der physiologischen Processe in der Pflanze eingehender, als es bisher geschehen ist, zu untersuchen. Namentlich erscheint es zunächst erwünscht, den verschiedensten Vorgängen in ein und derselben Pflanze in der hier in Rede stehenden Beziehung näher zu treten und die gewonnenen Ergebnisse mit einander zu vergleichen.

2) Vgl. Sachs, Handbuch. S. 70.

steigender Temperatur zunimmt, dann ein Maximum erreicht, um schliesslich bei noch höherer Temperatur wieder langsamer zu werden. Neuere Untersuchungen von Velten[1]), bei deren Ausführung der Experimentator die Geschwindigkeit der Bewegung der Chlorophyllkörner zum Massstab der Beurtheilung machte, lassen das angedeutete Verhältniss besonders deutlich hervortreten. Bei 0° z. B. zeigten sich die Chlorophyllkörner in den Stengelparenchymzellen von Elodea canadensis völlig in Ruhe, oder sie liessen nur sehr träge und kurz dauernde Bewegungen erkennen. Bei höheren Temperaturen legten die Körner einen Weg von $^1/_{10}$ Mm. in folgenden Zeiten zurück.

1° R.	— 50.0 Sec.	16° R.	— 9.3 Sec.
	31.0 „	18° „	— 8.9 „
	43.0 „	20° „	— 8.7 „
	43.0 „	22° „	— 8.0 „
2° „	— 29.0 „	23° „	— 7.9 „
3° „	— 25.0 „	24° „	— 7.4 „
4° „	— 21.7 „	25° „	— 6.6 „
5° „	— 15.7 „	26° „	— 6.3 „
6° „	— 15.4 „	27° „	— 6.2 „
7° „	— 13.6 „	28° „	— 6.0 „
8° „	— 13.1 „	29° „	— 5.3 „
9° „	— 12.9 „	30° „	— 5.5 „
10° „	— 11.9 „	31° „	— 9.0 „
11° „	— 11.4 „	32° „	— 0 „
12° „	— 11.2 „	(Wärmestarre).	
14° „	— 10.1 „		

Eine eingehendere Discussion der vorstehenden Angaben ist hier nicht am Platze; ich bemerke nur so viel, dass das Temperaturoptimum für die Plasmabewegung in unserem Falle bei 29° R. (36° C.) liegt, und dass das Temperaturmaximum durch wenig höhere Wärmegrade zum Ausdruck gelangt. Das Temperaturoptimum und Maximum für die Bewegung des Plasma scheinen einander stets sehr nahe zu liegen, ein Verhältniss, welches nicht ohne besonderes theoretisches Interesse ist.

Der Einfluss der Temperatur auf das Ergrünen der Chlorophyllkörner ist von Sachs[2]) und Wiesner[3]) studirt worden.

1) Vgl. Velten, Flora. 1876. S. 198.

2) Vgl. Sachs, Flora. 1864. Nr. 32.

3) Vgl. Wiesner: Die Entstehung des Chlorophylls. Wien, 1877. S. 91.

Die Resultate der Untersuchungen lassen erkennen, dass das Ergrünen etiolirter Blätter im Licht sowie im Finstern (bei Coniferen) innerhalb gewisser Grenzen um so schneller erfolgt, je höher die Temperatur ist.

Der Einfluss verschiedener Temperaturen auf die Sauerstoffabscheidung der Blätter von Hottonia palustris ist von Heinrich [1]) näher verfolgt worden. Derselbe bestimmte die Zahl der Gasblasen, die innerhalb je 5 Minuten von einem Blatte der genannten Pflanze unter dem Einfluss des Lichtes abgeschieden wurde. Bei recht constanten Beleuchtungsverhältnissen gelangten zur Entwickelung

bei 8.5— 9°	R.	145—160	Blasen.
10°	„	180—190	„
11°	„	215	„
12°	„	245—255	„
14°	„	255—265	„
17°	„	325—360	„
18°	„	375	„
20°	„	390—450	„
25°	„	547—580	„
30°	„	420—517	„
35°	„	225—255	„
40°	„	110—220	„
45°	„	0	

Danach liegt das Temperaturoptimum für den Process der Sauerstoffabscheidung für die Blätter von Hottonia palustris bei 25° R. (31° C.); bei niederer, ebenso aber auch bei höherer Temperatur nimmt die Energie der Kohlensäurezersetzung ab [2]).

Ganz ins Besondere interessiren uns hier nun diejenigen Verhältnisse, welche sich auf den Einfluss der Temperatur auf das Wachsthum beziehen. Dieser Gegenstand ist bereits von den älteren Physiologen mit einer besonderen Vorliebe behandelt worden, und zwar ging man zunächst von der Ansicht aus, dass es möglich sein müsse, die Abhängigkeit des Wachsthums von der Temperatur durch eine einfache mathematische Formel zum Ausdruck

1) Vgl. Heinrich, Versuchsstationen. B. 13. S. 143.

2) Ob das Temperaturoptimum für die Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern von Hottina palustris mit dem Temperaturoptimum für die Sauerstoffabscheidung dieser Pflanze genau zusammenfällt, ist keineswegs, wie ich noch bemerken will, von vornherein mit Sicherheit zu sagen.

zu bringen [1]). Weiter unten wollen wir diese Bestrebungen etwas specieller verfolgen; es wird sich zeigen, dass sich diejenigen Forscher, welche sich mit der Aufstellung und Begründung von Temperaturformeln befassten, mochten sie nun nach einem empirischen oder gar nach einem rationellen Ausdruck für die Wirkung der Wärme auf das Pflanzenleben suchen, grossen Illusionen hingaben, welche nicht in Erfüllung gehen konnten.

Zu einem tieferen Verständnisse der Beziehungen zwischen der Temperatur und dem Pflanzenwachsthum kann man nur gelangen, wenn man von dem sicheren Boden experimenteller Forschung ausgeht und sich zunächst, alle weitgehenderen Speculationen ausser Acht lassend, an das thatsächlich Gegebene hält.

Wieder war es Sachs, der, von allen Voreingenommenheiten sich losmachend, die Fragen, um die es sich hier handelt, zuerst mit grosser Schärfe präcisirte und sich dann einer mühevollen experimentellen Arbeit über den Einfluss verschiedener, aber möglichst constanter Temperaturen auf das Wachsthum der einzelnen Theile keimender Samen unterzog [2]). Bei der Ausführung derartiger Untersuchungen sind verschiedene Vorsichtsmassregeln nicht ausser Acht zu lassen, und ganz ins Besondere ist der Umstand zu berücksichtigen, dass jeder wachsende Pflanzentheil selbst bei völlig constanter Temperatur von äusseren Umständen vollkommen unabhängige Evolutionserscheinungen zeigt. Jedes Internodium, jedes Blatt, jede Wurzel wächst bekanntlich zunächst langsam; die Wachsthumsgeschwindigkeit (auf die Zeiteinheit bezogen) wird allmählich schneller, sie erreicht ein Maximum, um dann wieder langsamer zu werden. (Grosse Wachsthumsperiode.)

Das hier angedeutete merkwürdige Verhältniss hatte bereits vor Sachs die Aufmerksamkeit verschiedener Physiologen gefesselt. Sachs selbst bestimmte unter anderem den Zuwachs, welchen die Wurzeln der Keimpflanzen von Pisum sativum bei einer mittleren Temperatur von 11.6° C. erfuhren, und er gelangte dabei zu folgenden Ergebnissen [3]): Die ursprüngliche Wurzellänge war 3 Mm.; die Verlängerung der Wurzel betrug

---

1) Streng genommen suchte man nach einer Formel, um die Beziehungen zwischen der Temperatur und der gesammten Entwickelungsgeschwindigkeit der Pflanzen zum Ausdruck zu bringen.

2) Vgl. Sachs, Pringsheim's Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik. B. 2. S. 338.

3) In der citirten Abhandlung hat Sachs ebenso die grosse Wachsthumsperiode der Plumula verschiedener Keimpflanzen untersucht.

am	1sten	bis	4ten	Tage	16	Mm.
„	5ten	und	6ten	„	10	„
„	7ten	„	8ten	„	26.6	„
„	9ten	„	10ten	„	59.1	„
„	11ten	„	12ten	„	35.3	„

Der Umstand, dass das Wachsthum eine von allen äusseren Verhältnissen unabhängige Periodicität zeigt, ist bei der Ausführung der Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Wärmegrade auf das Wachsthum zumal deshalb nie aus dem Auge zu verlieren, weil derselbe Erfolg (Beschleunigung oder Verzögerung des Wachsthums) also durch ganz verschiedenartige Ursachen (innere Wachsthumsursachen einerseits und Temperaturverhältnisse an sich andererseits) herbeigeführt werden kann. Aus auf der Hand liegenden Gründen wird man nur solche Untersuchungsobjecte zu den Beobachtungen über den Einfluss verschiedener Temperaturen auf das Wachsthum verwenden können, welche bei Beginn der Versuche den nämlichen Grad der Evolution besitzen, und vor allen Dingen eignen sich deshalb die sich entwickelnden Embryonen der Samen vortrefflich für den in Rede stehenden Zweck. Allerdings sind die so gewonnenen Resultate noch immer nicht völlig fehlerfrei, denn bei höheren Temperaturen unterhalb des Optimum für das Wachsthum der Keimtheile steigt die Geschwindigkeit des Wachsthums nicht nur in Folge der höheren Temperatur, sondern die Evolutionsintensität der Untersuchungsobjecte muss unter diesen Umständen schon deshalb bedeutender als bei niederer Temperatur sein, weil die Wirkung der inneren Wachsthumsursachen sich lebhafter bethätigen kann. Allerdings kommen diese Wirkungen erst in Folge des Einflusses der höheren Temperatur selbst zur Geltung, und es ist für unsere Zwecke deshalb nicht absolut nothwendig, die Fehler der Beobachtungsresultate auf rechnerischem Wege zu eliminiren, obgleich wir dieselben natürlich niemals aus dem Auge verlieren dürfen [1]).

Einige von Sachs über den Einfluss verschiedener, aber möglichst constanter Temperaturen auf die Wurzelentwickelung

---

1) Handelt es sich dagegen z. B. darum, den Einfluss derjenigen Temperaturgrade auf das Wachsthum, welche überhaupt eine Beschleunigung desselben herbeiführen, durch eine mathematische Formel zum Ausdruck zu bringen, so wäre es natürlich unerlässlich, zwischen dem Einfluss der Temperatur auf das Wachsthum an sich und der Wirkung der inneren Wachsthumsursachen zu unterscheiden, um beide Momente in der Formel zum Ausdruck bringen zu können.

von Keimpflanzen ausgeführte Untersuchungen lieferten die folgenden Ergebnisse[1]:

Zea Mays.

Zeit in Stunden.	Temperatur in ° C.	Erreichte Wurzellänge in Mm.
48	42.3	5.9
48	38.3	25.2
48	34.0	55.0
48	33.3	39.0
48	26.3	24.5
2.48	17.1	2.5

Pisum sativum.

Zeit in Stunden.	Temperatur in ° C.	Erreichte Wurzellänge in Mm.
48	38.3	12.2
48	33.3	17.0
48	28.5	41.0
48	17.6	4.0

Die Untersuchung des Einflusses, den die Temperatur auf die Entwickelung der aufwärts wachsenden Keimtheile ausübt, führte Sachs z. B. zu folgenden Resultaten:

Zeit in Stunden.	Temperatur in ° C.	Länge der Plumula in Mm.	
		Zea Mays.	Pisum sativum.
48	42.3	4.6	
48	38.3	9.1	5.5
48	34.0	13.0	5.0
48	33.3	11.0	5.7
48	26.3	5.6	10.0
2.48	17.1	4.6	3.0

Einige Versuche von Köppen[2]), bei deren Ausführung sich die Samen in einem geeigneten Bodenmaterial entwickelten, lieferten die folgenden Resultate:

In je 48 Stunden wurden bei recht constanter Temperatur die nachstehend angegebenen mittleren Längen der hypocotyle-donalen Axe in Mm. erreicht:

Temperatur in ° C.	Lupinus albus.	Zea Mays.
10.4	—	—
14.4	9.1	—
17.0	11.0	—
18.0	11.6	1.1
20.0	22.1	—
21.4	25.0	3.0
23.5	31.0	10.8
24.2	33.9	20.1

1) Bei Zea wurde die Wurzellänge vom Schildchen bis zur Wurzelspitze gemessen; bei Pisum von den Cotyledonenansätzen bis zur Wurzelspitze. Alle Zahlen repräsentiren Mittelwerthe.

2) Vgl. Köppen, Wärme und Pflanzenwachsthum. Moskau, 1870. S. 40.

Temperatur in °C.	Lupinus albus.	Zea Mays.
25.1	40.0	18.5
26.6	54.1	29.6
28.4	22.4	30.4
28.5	50.1	26.5
29.0	31.4	47.6
29.9	37.1	38.1
30.2	43.8	46.6
30.6	43.9	57.0
30.9	35.2	44.9
31.1	43.3	49.4
33.5	14.2	69.5
33.6	12.9	50.2
36.5	12.6	20.7
39.6	6.1	11.2 [1]).

Es ist von vornherein einleuchtend, dass die Fragen nach den Beziehungen zwischen der Temperatur und der Wachsthumsgeschwindigkeit durch die relativ sehr wenigen Beobachtungsresultate, die bis jetzt gefördert worden sind, nicht endgültig entschieden werden können. Namentlich ist es heute noch ganz müssig, nach mathematischen Formeln zu suchen, um die Relationen zwischen Temperatur und Wachsthum auf einen mehr oder weniger einfachen Ausdruck zu bringen. Gelänge es wirklich, derartige Formeln zu construiren, so wäre aber selbst damit wenig gewonnen, denn dieselben könnten heute thatsächlich nichts anderes als ein rein empirisch gewonnenes Beobachtungsergebniss zur Darstellung bringen; eine tiefere Einsicht in das Wesen des Wachsthumsprocesses würde nimmermehr gewonnen sein. Der Wachsthumsprocess ist eben ungemein verwickelter Natur, und man wird nur dann im Stande sein, eine rationelle Formel über die Relationen zwischen dem Wachsthum und der Temperatur aufstellen zu können, wenn es gelungen ist, die Beziehungen zwischen der Temperatur und den einzelnen, den Wachsthumsvorgängen zu Grunde liegenden elementaren physiologischen Processen zu bestimmen.

Bei alle dem würde es sehr verfehlt sein, wollte man die Ergebnisse, welche bis jetzt über die hier in Rede stehenden Gegenstände ermittelt worden sind, nicht genügend würdigen. Schon Sachs konnte die Thatsache von fundamentaler Bedeutung constatiren — und spätere Beobachter haben die Richtigkeit der An-

1) Köppen stellte auch Beobachtungen über den Einfluss der Temperatur auf das Wachsthum der Plumula von Keimpflanzen an.

gaben des genannten Forschers stets bestätigt gefunden — dass die Wachsthumsgeschwindigkeit mit steigender Temperatur (vom Temperaturminimum angefangen) zunimmt, dass ein Temperaturoptimum für das Wachsthum existirt, und Temperaturen oberhalb desselben die Wachsthumsgeschwindigkeit wieder bedeutend deprimiren. Danach existirt also keineswegs eine Proportionalität zwischen der Temperatur und der Wachsthumsgeschwindigkeit. Wir haben es hier mit einem Naturgesetze von sehr grosser Wichtigkeit zu thun, und die vorliegenden Angaben lassen dasselbe auf das Unmittelbarste hervortreten [1] [2]. Weiterhin ist es recht beachtenswerth, dass das Temperaturoptimum für das Längenwachsthum ein und desselben Organs verschiedener Keimpflanzen durchaus nicht immer durch denselben Wärmegrad zum Ausdruck gelangt. Dies zeigt die folgende kleine Uebersicht sehr deutlich:

Temperaturoptimum in ° C. für das erste Wurzelwachsthum von

Zea Mays	34.0 (Sachs)
Pisum sativum	28.5 (Sachs)
Phaseolus multiflorus	26.2 (Sachs)
Lupinus albus	26.6 (Köppen)
Linum usitatissimum	27.4 (De Vries)
Cucurbita melo	37.2 (De Vries) [3] [4].

Es ist bereits darauf hingewiesen, dass man sich mehrfach bemüht hat, die Beziehungen zwischen den Temperaturverhältnissen und der Wachsthumsgeschwindigkeit durch Formeln zum

1) Dasselbe Gesetz hat sich bei der Ausführung der bereits von uns behandelten Untersuchungen über die Keimungsenergie der Samen ergeben. Es handelte sich dabei ja ebenfalls wesentlich um einen Wachsthumsprocess des Embryo, und wir sahen, dass dieses Wachsthum durch höhere Temperaturen (bis zum Optimum der Keimungstemperatur) beschleunigt wird, bei noch höheren Temperaturen aber eine Verlangsamung erleidet.

2) Das erwähnte Gesetz erleidet keinen Abbruch dadurch, dass die Zahlen in der von Köppen zusammengestellten Tabelle z. B. mancherlei Unregelmässigkeiten zeigen, denn dies Verhältniss verdankt offenbar secundären Momenten, die mit dem hier in Rede stehenden nichts zu thun haben, seine Entstehung.

3) Eine genaue Beurtheilung der Beziehungen zwischen den Temperaturoptima für das Längenwachsthum der Wurzel einerseits und der Plumula derselben Keimpflanzen andererseits ist, wie noch bemerkt werden mag, auf Grund der wenigen vorliegenden Angaben nicht möglich.

4) Man vgl. noch Bialoblocki, Versuchsstationen. B. 13. S. 424. Der genannte Beobachter geht übrigens bei der Behandlung der ihn interessirenden Verhältnisse von einer sehr unklaren Fragestellung aus.

Ausdruck zu bringen. Von vornherein leuchtet ein, dass an die Aufstellung wirklich rationeller Formeln heute noch nicht zu denken ist, ja es mangelt jetzt sogar noch an Beobachtungsmaterial, um die erwähnten Relationen durch eine rein empirische Formel darzustellen. Sollte man sich veranlasst fühlen, nach dem Besitz solcher Formeln, deren Werth übrigens wohl immer nur ein relativ geringer sein dürfte, zu streben, so müssten vor allen Dingen sehr umfassende experimentelle Untersuchungen über die Abhängigkeit der Wachsthumsintensität von der Temperatur vorgenommen werden. Dabei wäre zu berücksichtigen, dass die Temperatur das Wachsthum gleichnamiger Glieder verschiedener Pflanzen durchaus nicht in ein und derselben Weise beeinflusst, ja dass selbst ein bestimmter Pflanzentheil während der einzelnen Stadien seiner Entwickelung in der hier in Rede stehenden Beziehung Verschiedenartigkeiten zeigen kann, wie dies bereits im dritten Capitel dieses Hauptabschnittes angedeutet worden ist. Besondere Schwierigkeiten stellen sich der Begründung sogen. Temperaturformeln noch durch die Existenz der grossen Wachsthumsperiode entgegen, und ferner ist in dem hier in Rede stehenden Zusammenhange namentlich noch darauf hinzuweisen, dass von vornherein an eine einfache Proportionalität zwischen den Temperaturgraden und der Wachsthumsgeschwindigkeit nicht zu denken ist. Es kommt hier gewiss nicht sowohl auf die Höhe der Temperatur, als vielmehr auf den specifischen Charakter der einzelnen Wärmegrade an, und dies erhellt schon daraus, dass Temperaturen, welche das Temperaturoptimum für den Wachsthumsprocess überschreiten, auf diesen Vorgang nicht beschleunigend, sondern retardirend einwirken.

Diese Schwierigkeiten, welche sich der Aufstellung von Temperaturformeln entgegensetzen, sind früher kaum in Betracht gezogen worden. Man hat überdies gar nicht genügend in Erwägung gezogen, dass die Entwickelung der Vegetation nicht allein von den Temperaturverhältnissen, sondern daneben von vielen anderen Momenten beeinflusst wird, und alle diese sowie manche anderweitige Unzulänglichkeiten haben dahin geführt, dass man mit grosser Sicherheit die Sätze aussprach, die Vegetationsdauer einer Species sei der herrschenden mittleren Temperatur umgekehrt proportional (Boussingault), oder die Vegetationsdauer sei dem Quadrat der mittleren Temperatur umgekehrt proportional (Quetelet) etc.[1]). Ich müsste Dinge berühren, die nicht in den Rahmen

1) Man vergl. über diese Verhältnisse De Candolle, Pflanzenphysiologie, Deutsch v. Röper, B. 1, S. 432. Boussingault, Die Landwirthschaft in

dieser Schrift hineinpassen, wollte ich diese Sätze einer eingehendern Kritik unterziehen. Aber so viel ist von vornherein klar, dass jene Behauptungen, die überdies nicht etwa die Relationen zwischen einem einzelnen physiologischen Process und den Temperaturverhältnissen, sondern die Beziehungen zwischen den gesammten Lebensvorgängen der Pflanzen und der Temperatur zum Ausdruck bringen sollen, unrichtig sein müssen und nur vom historischen Standpunkte aus ein gewisses Interesse beanspruchen.

Fünftes Capitel.

Einfluss der Temperaturschwankungen auf die Wachsthumsgeschwindigkeit der Keimtheile.

Die Frage nach der Bedeutung der Temperaturschwankungen für den Wachsthumsprocess der Pflanzen hat bis heute nicht viele experimentelle Untersuchungen veranlasst. Der erste, der speciellere Beobachtungen zur Beantwortung jener Frage anstellte, ist Köppen gewesen. Er stützt seine Anschauung, wonach Temperaturschwankungen die Wachsthumsgeschwindigkeit von Pflanzentheilen beeinträchtigen, theils auf sogen. phaenologische Daten, theils auf die Ergebnisse besonderer Experimente. Die ersteren sind unzweifelhaft für die Beurtheilung gewisser Erscheinungen des Pflanzenlebens nicht ohne Werth, aber bei der Behandlung pflanzenphysiologischer Probleme sind sie, wie bereits von anderer Seite hervorgehoben worden ist, nur mit äusserster Vorsicht zu verwerthen. Aus diesem Grunde lege ich hier nur Gewicht auf die Resultate der von Köppen ausgeführten experimentellen Untersuchungen.

Die Samen (Triticum vulgare, Zea Mays, Pisum sativum, Lupinus albus, Sinapis alba etc.), mit denen Köppen arbeitete, gelangten in einem aus Sägespähnen und Sand bestehenden Bodenmaterial zum Keimen. Die Keimlinge blieben nun während der Versuchsdauer entweder constanten Temperaturen ausgesetzt, oder sie wurden von Zeit zu Zeit dem Einfluss von Temperaturschwankungen unterzogen. Eine Versuchsreihe, die mit Erbsenkeimlingen durchgeführt wurde, lieferte z. B. die folgenden Ergebnisse:

---

ihrer Beziehung zur Physik, Chemie und Meteorologie, Deutsch v. Graeger, B. 2, S. 436 und die kritischen Betrachtungen von Sachs, Pringsheim's Jahrbücher, B. 2, S. 370.

Ein Blumentopf, in dem die Samen von Pisum sativum ausgelegt waren, verweilte 144 Stunden lang bei einer fast völlig constanten Temperatur von 15.1° C.; ein anderer wurde täglich zweimal mehrere Stunden lang auf die Temperatur 20° C. erwärmt, in der Zwischenzeit aber bei derselben Temperatur 15.1° C. belassen. Bei der Ausführung eines dritten Versuchs wurden die Untersuchungsobjecte täglich zweimal einer Temperatur von 30° C. ausgesetzt; Minimum war auch hier 15.1° C. Trotzdem nun die mittlere Temperatur für die Pflanzen im zweiten Topfe 16.0° C. und für diejenigen im dritten 18.0° C. betrug, war die mittlere Länge der Wurzeln von Pisum im ersten Topfe = 110, im zweiten = 88 und im dritten nur = 56 Mm. „Es hatte demnach die mehrere Stunden anhaltende Erwärmung auf Temperaturen, welche, wenn constant, weit günstiger für die Keimung sind als 15°, nicht nur keine Beschleunigung, sondern eine starke Verzögerung in der Keimung hervorgebracht [1]).“

Nachdem bereits Sachs [2]) den Resultaten der Untersuchungen Köppen's gegenüber gewisse Bedenken geltend gemacht hatte, unterzog Pedersen [3]) die von Köppen in Anwendung gebrachte Beobachtungsmethode einer eingehenden Kritik und suchte neue experimentelle Beiträge zur Lösung der hier in Rede stehenden Fragen zu liefern.

Namentlich macht Pedersen darauf aufmerksam, das Köppen bei vielen seiner Versuche zu hohe Temperaturen in Anwendung gebracht habe, Temperaturen, die über dem Optimum, ja zuweilen sogar über dem Maximum lagen. Dieser Vorwurf ist in der That als ein berechtigter anzusehen, und Pedersen hat seinerseits deshalb nur mit Wärmegraden operirt, die an sich für das Wachsthum der Keimtheile seiner Untersuchungsobjecte als nützliche angesehen werden können. Uebrigens will ich erwähnen, dass der berührte Vorwurf nicht sämmtliche Versuche Köppen's trifft. Pedersen ist ferner der Meinung, dass Köppen keine genügende Rücksicht auf die individuellen Verschiedenheiten seines Untersuchungsmaterials genommen habe, und in der That ist es zu bedauern, dass Köppen, der in seiner Arbeit sonst so vielen

---

1) Vgl. Köppen, Wärme und Pflanzenwachsthum. Inaugural-Dissert. 1870. S. 17.

2) Vgl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg. B. 1. S. 164.

3) Vgl. Pedersen: Ebendaselbst. S. 563.

kritischen Sinn entwickelt hat, dem hier in Rede stehenden Momente keine genügende Aufmerksamkeit widmete.

Die Untersuchungen, welche Pedersen selbst zur Beantwortung der Frage nach dem Einfluss der Temperaturschwankungen auf den Wachsthumsprocess anstellte (er experimentirte mit Keimpflanzen von Vicia Faba) sind mit grösster Sorgfalt und Umsicht durchgeführt worden. Ich gehe hier nicht auf das Detail der Beobachtungen ein, sondern mache den Leser nur mit dem Hauptresultat derselben bekannt.

Der Zuwachs, welchen eine Wurzel bei plötzlichem Wechsel zwischen verschiedenen nützlichen, constanten Temperaturen oder bei continuirlichen Schwankungen nützlicher Temperaturen erreicht, ist nicht kleiner, sondern grösser, als der Zuwachs, welchen sie in gleicher Zeit bei den entsprechenden mittleren constanten Temperaturen erreicht.

Dies Ergebniss scheint zunächst darauf hinzudeuten, dass Temperaturschwankungen geradezu den entgegengesetzten Einfluss auf den Wachsthumsprocess ausüben, wie Köppen gefunden hatte. Es ist aber bekannt, und Pedersen hat dies für die Keimwurzel von Vicia noch durch specielle Beobachtungen dargethan, dass bei graphischer Darstellung der Relationen zwischen der Temperatur und der Wachsthumsgeschwindigkeit, die Zuwachscurve eine krumme Linie repräsentirt, welche ihre convexe Seite der Abscissenaxe zukehrt. Unter Berücksichtigung dieses Verhältnisses sowie unter Erwägung verschiedener anderer Umstände gelangt Pedersen schliesslich zu der Behauptung, dass die Temperaturschwankungen als solche auf das Wachsthum weder einen fördernden noch einen verzögernden, sondern gar keinen Einfluss geltend machen.

A priori kann die Möglichkeit eines schädlichen Einflusses der Temperaturen auf den Wachsthumsprocess, wie er von Köppen behauptet worden ist, nicht bestritten werden. Man könnte sich ja vorstellen, dass namentlich plötzliche Temperaturschwankungen eine Störung in der Anordnung der Tagmen des Plasma bedingten, die ihrerseits einen erheblichen Einfluss auf den Verlauf des Wachsthumsprocesses ausübten. Aber eine Erscheinung, die allerdings möglich ist, braucht ja dennoch nicht thatsächlich hervorzutreten, und angesichts der von Pedersen gewonnenen Beobachtungsergebnisse muss wohl zunächst daran festgehalten werden, dass die Temperaturschwankungen als solche kei-

nen Einfluss auf die Wachsthumsgeschwindigkeit ausüben [1]). Allerdings wäre eine weitere experimentelle Behandlung der hier berührten Fragen sehr erwünscht, zumal ja von vornherein gewiss nicht behauptet werden kann, dass das Wachsthum eines jeden Pflanzentheils sich gänzlich unabhängig von dem Einfluss der Temperaturschwankungen als solchen zeigt.

---

1) Köppen (vgl. botan. Jahresbericht für 1875, S. 778) hat versucht, die Angriffe, welche seine Untersuchungen von Seiten Pedersen's erfuhren, zurückzuweisen. Meiner Ueberzeugung nach ist ihm dies aber nicht gelungen. Weitere experimentelle Forschungen hat Köppen leider nicht vorgenommen.

Achter Hauptabschnitt.

Der Einfluss des Lichts und der Dunkelheit auf die Keimpflanzen.

Erstes Capitel.

Allgemeiner Charakter der bei Lichtzutritt und bei Lichtabschluss erwachsenen Keimpflanzen.

Die Bedeutung des Lichts für die Vegetation ist zunächst und vor allen Dingen darin zu suchen, dass dasselbe das Zustandekommen des Assimilationsprocesses in den chlorophyllhaltigen Zellen der Gewächse ermöglicht. Eine etwas eingehendere Betrachtung lehrt aber sofort, dass das Licht ebenso auf den Verlauf mancher anderweitiger Vorgänge im vegetabilischen Organismus von dem hervorragendsten Einflusse ist, und dass z. B. zwei Keimpflanzen derselben Species, von denen sich die eine im Finstern, die andere aber bei Lichtzutritt entwickelt hat, nicht nur deshalb einen wesentlich verschiedenartigen Charakter tragen, weil diese assimiliren konnte, jene aber nicht dazu im Stande war.

Wir haben hier stillschweigend vorausgesetzt, dass sich der Wachsthumsprocess der Keimpflanzen bei Lichtabschluss überhaupt vollziehen kann, und in der That lehren alltägliche Beobachtungen, dass diese Voraussetzung im Allgemeinen richtig ist. Aber bei eingehenderer wissenschaftlicher Behandlung der in Rede stehenden Verhältnisse drängen sich uns doch verschiedene Fragen auf, die hier nicht unberücksichtigt gelassen werden dürfen. Wir können speciell mit Bezug auf die Keimpflanzen fragen, ob sämmtliche Embryonen die Fähigkeit besitzen, bei Lichtabschluss zu wachsen, ob die Keimfähigkeit und die Keimungsenergie der Samen von dem Licht in irgend einer Weise beeinflusst werden etc. etc.

Dass derartige Fragen eine innere Berechtigung besitzen, wird sofort klar, wenn man bedenkt, dass das Licht für das Wachs-

thum mancher Pflanzentheile nachgewiesenermassen von hervorragendster Bedeutung ist. Ich bemerke hier nur, dass nach Pfeffer's[1]) Angaben die Brutknospen von Marchantia polymorpha, wenn dieselben im Finstern geeigneten Vegetationsbedingungen ausgesetzt werden, keine oder doch nur spärliche Wurzelhaare treiben und dass unter diesen Umständen die Entwickelung von Seitensprossen gänzlich unterbleibt. Ferner mag hier Erwähnung finden, dass die Sporen der Lebermoose nach Leitgeb's[2]) Beobachtungen im Finstern nicht zur Keimung zu bringen sind und dass sich die Farnsporen nach Borodin[3]) ganz analog verhalten. Uebrigens ist es vor der Hand noch ungewiss, ob das Licht in den hier berührten Fällen für das Wachsthum als solches, d. h. für die Einlagerung neuer Substanztheile zwischen die Tagmen der organisirten Pflanzengebilde, von directer Bedeutung ist, oder ob das Licht das Stattfinden anderweitiger Processe in den Zellen, welche in näherer oder entfernterer Beziehung zu den Wachsthumsvorgängen stehen, und die im Finstern nicht zur Geltung kommen können, erst ermöglicht.

Im Zusammenhange mit dem in diesem Capitel bereits Gesagten ist zunächst namentlich auf die in der Literatur über den Keimungsprocess der Samen häufiger wiederkehrende Angabe hinzuweisen, wonach das Licht die Keimungsenergie der Samen herabdrücken soll. Ingenhouss[4]) legte z. B. je 60 Senfkörner auf ein mit Fliesspapier überzogenes Stück Kork, das in einem mit Wasser angefüllten Glase schwamm. Einer der auf diese Weise vorbereiteten Apparate wurde dem freien Lichtzutritt ausgesetzt, ein zweiter wurde mit schwarzem, ein dritter mit aschgrauem Papier überdeckt. Ein viertes Glas gelangte hinter ein verschlossenes Fenster, ein fünftes an die Hinterwand eines Zimmers und ein sechstes endlich an einen dunkelen Ort. Die Senfkörner, mit welchen die Versuche 1 und 4 ausgeführt wurden, sollen im Vergleich zu den übrigen Samen um mehrere Tage in der Keimung zurückgehalten worden sein. Unterschiede in der Temperatur des Wassers in den Apparaten konnten nicht wahrgenommen werden, aber trotzdem scheint die Schlussfolgerung, welche

---

1) Vgl. Pfeffer, Arbeiten d. botan. Instituts zu Würzburg. Bd. 1. S. 77.

2) Vgl. Leitgeb, Sitzungsber. d. Akadem. d. Wissensch. zu Wien. B. 74. 1. Abthlg. S. 425.

3) Vgl. Borodin, Mélanges biologiques tirés du Bulletin de l'academ. de St. Petersbourg. T. 6. 1867.

4) Vgl. Ingenhouss, Versuche mit Pflanzen. 1788. B. 2. S. 25.

Ingenhouss aus seinen Beobachtungen gezogen hat, auf sehr schwachen Füssen zu stehen. Sollten nämlich die Samen in den Apparaten 1 und 4 nicht nur deshalb eine langsamere Entwickelung als die übrigen gezeigt haben, weil sie in Folge der im Freien und in unmittelbarer Nähe des Fensters doch unzweifelhaft relativ lebhaften Wasserverdunstung stets ärmer an Feuchtigkeit als die anderen Untersuchungsobjecte waren.

Sennebier[1]) hat Erbsen- oder Bohnensamen auf feuchten Schwämmen in mit atmosphärischer Luft erfüllte Gläser gebracht. Diese wurden verschlossen und dann entweder dem directen Sonnenlicht ausgesetzt oder mit Weissblechcylindern bedeckt. Auch bei der Ausführung dieser Versuche sollen die Samen im Dunkeln schneller als unter dem Einflusse des Lichts zur Entwickelung gelangt sein. Es wird angegeben, dass die Temperatur in den Apparaten in allen Fällen nahezu dieselbe war, aber gegen die Richtigkeit dieser Angabe sind doch wohl begründete Zweifel zu erheben.

Saussure[2]), welcher sich der Schwierigkeiten wohl bewusst war, mit denen der Pflanzenphysiolog zu kämpfen hat, wenn es sich darum handelt, genaue Anhaltspunkte zur Beurtheilung des Einflusses des Lichts auf den Keimungsprocess zu gewinnen, setzte Samen entweder unter undurchsichtigen oder durchsichtigen Recipienten, welche aber nicht von directen Sonnenstrahlen getroffen wurden, den Keimungsbedingungen aus. Auf diesem Wege gelang es, verschiedene das Resultat der Untersuchungen störend beeinflussende Factoren zu eliminiren, und nun zeigte sich, dass das Licht keinen nachweisbaren Einfluss auf den Verlauf der ersten Stadien des Keimungsprocesses der Samen geltend machte[3]).

In neuerer Zeit hat man sich vielfach der Meinung hingegeben, dass den von Saussure für bestimmte Samen gewonnenen Resultaten ganz allgemeine Bedeutung zuzuschreiben sei. Ich

1) Vgl. Sennebier, Physiol. végétale. 1797. B. 3. S. 396.

2) Vgl. Saussure, Chem. Untersuchungen über die Vegetation. S. 19.

3) Historisch interessant sind noch die folgenden Notizen. Nach A. v. Humboldt (vgl. Aphorismen, Deutsch von Fischer, 1794, S. 90) sollen die Samen im Finstern leichter als bei Lichtzutritt keimen. Nach Fleischer (vgl. Beiträge zur Lehre vom Keimen der Samen, 1851, S. 31), Heiden (vgl. dessen Abhandlung über das Keimen der Gerste, 1859, S. 45) und Nobbe (vgl. Handbuch der Samenkunde, S. 240) üben die Lichtstrahlen dagegen keinen nachweisbaren Einfluss auf die erste Entwickelung des Embryo der Samen aus. Nach Hunt (vgl. botan. Zeitung, 1851, S. 304) soll das Licht das Keimen der Samen verlangsamen.

möchte hier betonen, dass ich einer derartigen Anschauungsweise nicht zustimmen kann, denn wenngleich unzweifelhaft feststeht, dass die Keimfähigkeit sowie die Keimungsenergie sehr vieler Samen nicht vom Licht modificirt wird (und ich habe beides für die Samen von Pisum sativum speciell constatiren können), so deutet doch bereits eine Angabe von Peyritsch[1]), wonach das Wachsthum des negativ heliotropischen hypocotylen Gliedes der Keimpflanzen von Viscum album nur im Licht erfolgt, auf eine Abhängigkeit des Keimungsprocesses mancher Samen von den Beleuchtungsverhältnissen in dem hier in Rede stehenden Sinne hin[2]).

Für die Charakteristik der im Finstern und bei Zutritt des Lichts erwachsenen Keimpflanzen ist es von grosser Bedeutung, dass die Bildung des normalen grünen Chlorophyllfarbstoffs im Allgemeinen an die Gegenwart des Lichts gebunden ist. Allerdings ist es ja bekannt, dass die Cotyledonen der Coniferen und die Laubblätter der Farne auch in tiefster Finsterniss ergrünen[3]), aber bei allen Mono- sowie Dicotyledonen erfolgt der Ergrünungsprocess der Chlorophyllkörner nur unter dem Einflusse der Lichtstrahlen.

Gehen wir auf die Verhältnisse, welche wir hier im Auge haben, etwas genauer ein, so ist zunächst und vor allen Dingen hervorzuheben, dass jeder Chlorophyllkörper aus zwei wesentlich von einander verschiedenen Elementen, nämlich aus einer protoplasmatischen Grundmasse und einem Farbstoffe (Farbstoffgemenge), besteht. Jenes Product der Differenzirung des Plasma kann sich sowohl bei Gegenwart als auch bei Abwesenheit des Lichts ausbilden; der normale Chlorophyllfarbstoff entsteht aber in der bei weitem grössten Mehrzahl der Fälle nur unter Mitwirkung der Lichtstrahlen. Sind diese ausgeschlossen, so ist übrigens die plasmatische Grundmasse der Chlorophyllkörper nicht frei von einem Pigment, vielmehr beherbergt sie unter diesen Umständen einen gelben Farbstoff, der eben die eigenthümliche Färbung in die Er-

---

1) Vgl. die Angabe Wiesner's in dessen Abhandlung über heliotropische Erscheinungen im 39. Bande der Denkschriften der Wiener Akadem. d. Wissensch., 1878, S. 42.

2) Auf die hier berührten Verhältnisse komme ich an anderer Stelle noch zurück.

3) Vgl. Sachs, Handbuch, S. 8 und Lehrbuch, 1874, S. 714. Man vgl. auch Wiesner: Die Entstehung des Chlorophylls, Wien 1877, S. 117.

scheinung treten lässt, welche uns an im Finstern erwachsenen Pflanzen auffällt [1]).

Man hat sich vielfach bemüht, die Beziehungen des gelben Farbstoffs, der in etiolirten Pflanzen vorkommt, zu dem normalen grünen Chlorophyllfarbstoff festzustellen, und wir haben uns bereits an einer anderen Stelle dieses Buches in etwas eingehenderer Weise über die fraglichen Verhältnisse ausgesprochen. Hier soll es vor allen Dingen nur unsere Aufgabe sein, das früher Erwähnte noch durch einige historische Notizen zu vervollständigen.

Zunächst ist auf einige Angaben Fremy's [2]) hinzuweisen. Derselbe versetzte den alkoholischen Extract aus grünen Pflanzentheilen mit einer Mischung von 2 Raumtheilen Aether und 1 Raumtheil verdünnter Salzsäure. Wurde die Flüssigkeit nun geschüttelt und darauf ruhig hingestellt, so mussten sich die einzelnen Lösungsmittel ihrem specifischen Gewichte entsprechend von einander scheiden. Die ätherische Flüssigkeit befand sich oben, die salzsaure unten; erstere enthielt einen gelben, die letztere aber einen blauen Farbstoff gelöst [3]). Fremy identificirte nun den gelben Farbstoff etiolirter Pflanzen mit dem in der angegebenen Weise von ihm aus einer Chlorophylllösung abgeschiedenen gelben Körper, er hat aber später hervorgehoben, was besonders zu betonen ist, dass der normale Chlorophyllfarbstoff in den Pflanzenzellen nicht als ein einfaches Gemenge der beiden von ihm dargestellten Farbstoffe anzusehen sei [4]). Und in der That hat eine derartige Anschauungsweise schon von vornherein viel für sich, denn es ist zu bedenken, dass die Salzsäure ein energisch eingreifendes Reagens repräsentirt, und dass ferner das Chlorophyll eine Substanz darstellt, die sehr leicht Zersetzungen unterliegt. Man darf daher schliessen, dass Fremy den grünen Farbstoff der Pflanzen bei der Behandlung mit Salzsäure nicht in seine Mischungsbestandtheile zerlegte, sondern chemisch zersetzte [5]). Die spec-

---

1) Die Blätter der im Dunkeln erwachsenen Pflanzen erscheinen bekanntlich gelb, die Stengeltheile hingegen weiss. Diesen letzteren fehlen die gelben Körner aber durchaus nicht völlig; sie sind nur so sehr in den Zellen zerstreut, dass sie keinen färbenden Effect hervorrufen. Man vgl. Kraus, Pringsheim's Jahrbücher, B. 7, S. 241.

2) Vgl. Fremy, Annal. d. sc. nat. 4. Ser. T. 13. p. 45.

3) Die Farbstoffe werden als Phylloxanthin und Phyllocyanin unterschieden.

4) Vgl. hierüber Kraus: Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe. 1872. S. 79.

5) Vgl. hierüber N. J. C. Müller, Pringsheim's Jahrbücher. B. 7. S. 200.

troskopischen Untersuchungen von Kraus[1]) haben ergeben, dass diese Ansicht durchaus als eine richtige zu bezeichnen ist.

Kraus bemüht sich bei seinen Untersuchungen über die grünen Farbstoffe der Pflanzen zunächst vor allen Dingen, Flüssigkeiten aufzufinden, welche keine chemischen Wirkungen auf das Chlorophyll geltend machen, sondern dasselbe rein mechanisch in seine Mischungsbestandtheile zerlegen. Er behandelte die alkoholische Chlorophylllösung zu dem Ende mit Benzol, und fand, dass der Alkohol einen goldgelben, das auf dem Alkohol schwimmende Benzol aber einen grünen, mit einem Stich ins Blaue behafteten Körper aufnahm[2]). Wir haben uns weiter unten über den Werth des von Kraus zur Trennung der einzelnen Gemengtheile des Chlorophylls in Anwendung gebrachten Verfahrens eingehender auszusprechen; zunächst müssen wir die Methode selbst specieller kennen lernen.

Die Untersuchungsobjecte (Blätter) werden mit Wasser ausgekocht[3]), worauf sich die alkoholische Chlorophylllösung leicht darstellen lässt. Diese wird mit ihrem doppelten Volumen an Benzol versetzt, und man lässt das Flüssigkeitsgemisch darauf ruhig stehen, bis eine völlige Sonderung des Benzols von dem Alkohol eingetreten ist. Die blaugrün gefärbte Flüssigkeit kann nun sofort weiter untersucht werden, die goldgelbe muss aber noch mehrmals, um sie von vorhandenen Spuren des blaugrünen Farbstoffs zu befreien, mit Benzol ausgeschüttelt werden. Es ist klar, dass die beiden von Kraus gewonnenen Farbstoffe eventuell selbst noch Farbstoffgemenge repräsentiren, aber dieselben sind auf jeden Fall interessant genug, um sie einer genaueren Untersuchung zu unterziehen und mit besonderen Namen zu belegen. Kraus hat den goldgelben Körper als Xanthophyll, den blaugrünen aber als Kyanophyll bezeichnet, und sowohl jenes als auch dieses, wie ebenfalls den grünen Chlorophyllfarbstoff selbst eingehend mit Hülfe seines Mikrospectralapparates studirt.

Das Absorptionsspectrum einer unveränderten, alkoholischen Chlorophylllösung zeigt sieben Bänder, von denen die vier ersten (I—IV) schmal erscheinen und in der ersten Hälfte des Spectrum liegen, während die drei letzten (V—VII) breit sind und sich in der zweiten Hälfte des Spectrum zeigen. Die vier ersten

1) Vgl. Kraus: Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe. 1872. S. 80.

2) Vgl. Kraus: Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe. 1872. S. 80.

3) Nur bei Farnen, so giebt Kraus an, ist das Auskochen mit Wasser nicht zulässig.

Bänder liegen im Roth, Orange, Gelb und Lichtgrün, das fünfte Band liegt hinter F, das sechste vor und auf G, das siebente im Violett. Kraus fasst das Spectrum des normalen Chlorophylls als ein Combinationsspectrum auf, welches durch Uebereinanderlagerung der Spectra mindestens zweier Körper entsteht. Das Kyanophyll ruft das Hervortreten der Absorbtionsstreifen im Roth, Orange, Gelb und Grün (der Bänder I—IV) hervor, und es zeigt überdies drei Bänder im Blau und Violett, von denen das zweite Band den hervorragendsten Antheil an der Bildung des Bandes VI im Chlorophyllspectrum besitzt. Das Xanthophyll besitzt drei Bänder im Blau und Violett, das erste Band, bei F gelegen, ruft das Band V des Chlorophyllspectrum hervor. Wenn man die alkoholische Lösung des Xanthophylls verdunstet und den gewonnenen Rückstand in eine Kyanophylllösung in Benzol einträgt, so gewinnt man eine Flüssigkeit, welche das typische Absorptionsspectrum des Chlorophylls zeigt. Hierin liegt nach Kraus der Beweis dafür, dass das Chlorophyll in den Pflanzen ein mechanisches Gemenge der beiden genannten Farbstoffe, des Xanthophylls und Kyanophylls, repräsentirt, und dass diese beiden Körper nicht etwa als Zersetzungsproducte des Blattgrüns aufzufassen sind. Von besonderem Interesse dürften hier noch die Angaben von Kraus sein, dass sich das in grünen Pflanzentheilen vorkommende und an eine protoplasmatische Grundmasse gebundene Farbstoffgemenge in optischer Beziehung der Hauptsache nach genau so verhält, wie der in alkoholischer Lösung vorhandene Chlorophyllfarbstoff, und dass ferner der gelbe Farbstoff etiolirter Pflanzentheile sowie das Anthoxanthin gelber Blüthen mit dem als Xanthophyll bezeichneten Chlorophyllfarbstoff identisch sind [1]).

Gegen die Angaben von Kraus, dass das Chlorophyll ein aus einem gelben und einem blaugrünen Farbstoffe bestehendes einfaches Farbstoffgemenge repräsentire, hat sich Konrad gewandt [2]). Er macht darauf aufmerksam, dass, wenn man eine Lösung von Chlorophyll in absolutem Alkohol mit Benzol versetzt, niemals die Abscheidung zweier Farbstoffe erfolge und betont, dass dies bei Kraus nur eingetreten sei, weil derselbe wässerigen Alkohol bei der Ausführung seiner Untersuchungen benutzt habe [3]). Konrad erscheint es nun sehr fraglich, ob das Chlorophyll nach der Methode von Kraus wirklich in seine beiden

1) Uebrigens gilt dies nicht für das Anthoxanthin sämmtlicher Blüthen.

2) Vgl. Konrad, Flora. 1872. S. 396.

3) Kraus behandelte die mit Wasser extrahirten Pflanzentheile zur Darstellung seiner Chlorophylllösungen ohne sie zunächst zu trocknen mit Alkohol.

Mischungsbestandtheile zerlegt werden kann; viel wahrscheinlicher ist ihm, dass das Blattgrün bereits in Folge der Behandlung mit wässerigem Alkohol chemische Veränderungen erleidet, und dass der unveränderte Chlorophyllfarbstoff demnach nicht als ein Gemenge von Xanthophyll und Kyanophyll aufgefasst werden darf.

Den Anschauungen Konrad's gegenüber lassen sich mancherlei Bedenken geltend machen, und namentlich hat Treub[1]) auf die Unhaltbarkeit derselben hingewiesen. Treub fand nämlich, dass, wenn man zu einer Lösung von Chlorophyll in absolutem Alkohol statt des Benzols Schwefelkohlenstoff hinzufügt, die Zerlegung des Blattgrüns in Kyanophyll und Xanthophyll gelingt. Allerdings liefert das Experiment nur unter Einhaltung besonderer Vorsichtsmassregeln gute Resultate; leicht gelingt die Trennung hingegen, wenn man zu einer wasserarmen Chlorophylllösung, welche durch Benzol noch nicht verändert wird, Schwefelkohlenstoff hinzufügt. Ich gehe hier nicht weiter auf die zwischen den Ansichten von Kraus, Konrad und Treub bestehenden Controversen ein, aber so viel scheint doch festzustehen, dass der normale Chlorophyllfarbstoff durch verschiedene denselben nicht chemisch zersetzende Substanzen auf rein dialytischem Wege in zwei Farbstoffe zerlegt werden kann.

Sehr gründliche Untersuchungen hat neuerdings Pringsheim über das Chlorophyll angestellt[2]). Er geht dabei zunächst von der Thatsache aus, dass Blattgrünlösungen je nach ihrer Concentration sehr verschiedene Absorptionsspectra zeigen können. Während nämlich ziemlich concentrirte Chlorophylllösungen die sieben charakteristischen Absorptionsstreifen mehr oder weniger deutlich hervortreten lassen, führt eine sehr verdünnte Chlorophylllösung nur zur Entstehung des Bandes I, welches überhaupt am leichtesten sichtbar wird und sehr constant hervortritt.

Der gelbe Farbstoff etiolirter Pflanzen, den Pringsheim sehr zweckmässig als Etiolin bezeichnet, soll sich nach den älteren Angaben vom Chlorophyll dadurch unterscheiden, dass seinem Spectrum in der ersten Hälfte die für das Chlorophyll so charakteristischen Absorptionsstreifen fehlen. Pringsheim fand dagegen bei der Untersuchung des aus den verschiedensten im Dunkeln erwachsenen Pflanzen extrahirten Etiolins, dass der Körper, wenn die Lösung desselben nur in genügend dicken Schichten verwandt

---

1) Vgl. Treub, Flora. 1874. S. 55.

2) Vgl. Pringsheim, Monatsber. d. Akd. d. Wiss. zu Berlin. 1874. S. 628.

wurde, die sieben Absorptionsstreifen des Chlorophylls, allerdings nicht in der Intensität und genau derselben Lage, zeigte. Das Etiolin lässt nach Pringsheim ferner, was Kraus verneint hatte, eine rothe monochromatische Fluorescenz wie das Chlorophyll erkennen. Diese Erscheinung tritt aber meist erst hervor, wenn man concentrirte Etiolinlösungen im directen Sonnenlicht untersucht. Das Etiolin repräsentirt danach also einen Körper, der dem Chlorophyllfarbstoffe sehr nahe steht, und es wird dasselbe deshalb von Pringsheim als leichte Chlorophyllmodification bezeichnet[1]). Die gelben Blüthenfarbstoffe (Anthoxanthinfarbstoffe) müssen nach Pringsheim's optischen Untersuchungen ebenso als leichte Chlorophyllmodificationen aufgefasst werden, und zwar stehen diejenigen der hierher gehörenden Körper, welche schwer in Alkohol, aber leicht in Wasser löslich sind, dem gewöhnlichen Chlorophyll am fernsten. Endlich ist auch der Farbstoff herbstlich gefärbter gelber Blätter mit dem Chlorophyll nahe verwandt.

Mit Rücksicht auf das Spectrum des von Kraus als Kyanophyll bezeichneten Körpers giebt Pringsheim an, dass dasselbe mit demjenigen des normalen Chlorophylls fast völlig identisch sei und sich von diesem letzteren nur durch die unter Vermittelung des Lösungsmittels hervorgerufene geringe Verschiebung der Bänder nach der brechbareren Seite hin unterscheide. Das Kyanophyll von Kraus darf danach nicht als ein Product der Dialyse des grünen Chlorophyllfarbstoffs im Sinne von Kraus angesehen werden, sondern es ist eben mit diesem selbst völlig identisch und kommt nach Pringsheim in der Pflanze gemischt mit einem gelben Körper vor, über dessen optische Eigenschaften von Pringsheim aber noch nichts Sicheres festgestellt werden konnte, da es ihm nicht gelang, denselben von fremden Beimischungen völlig zu befreien. Zunächst ermittelte Pringsheim nur, dass die Lösung des von Kraus als Xanthophyll bezeichneten Körpers selbst in sehr verdünntem Zustande, wenn man nur hinreichend dicke Schichten derselben untersucht, auch den Absorptionsstreifen I zwischen B und C hervortreten lässt.

In der That scheinen die Ergebnisse der neuesten Untersuchungen von Sachsse[2]), nach welchen im normalen Chlorophyll

1) Es lässt sich zeigen, dass das eigenthümliche optische Verhalten des Etiolins, wie dasselbe von Pringsheim constatirt worden ist, nicht etwa auf Rechnung einer Verunreinigung des Körpers durch Chlorophyll geschoben werden darf. Vgl. Sachsse: Die Chemie und Physiologie d. Farbstoffe, Kohlehydrate und Proteinsubstanzen. 1877. S. 64.

2) Vgl. Sachsse: Physiologische Untersuchungen. 1880. S. 37.

verschiedene grüne (stickstoffhaltige) Körper (Kyanophyllsubstanzen) neben verschiedenen gelben (stickstofffreien) Stoffen (Xanthophyllsubstanzen) vorkommen, zu beweisen, dass Pringsheim's Xanthophylllösungen noch durch Kyanophyll verunreinigt waren. Die gelben Farbstoffe absorbiren das minder brechbare Licht, wenn sie nach Sachsse's Methode im möglichst reinen Zustande dargestellt sind, gar nicht, lassen aber im brechbaren Theile des Spectrum eine continuirliche Endabsorption, keine Bandabsorption, erkennen [1]).

Der hier berührten, selbst bei oberflächlichster Betrachtung wahrnehmbaren Verschiedenartigkeit zwischen den im Dunkeln erwachsenen gelb gefärbten Pflanzen einerseits und den normalen grünen, bei Lichtzutritt erwachsenen Pflanzen andererseits, entspricht ferner ein sehr bemerkenswerther Unterschied mit Bezug auf die physiologischen Processe, die sich in den unter verschiedenen Verhältnissen cultivirten Gewächsen abspielen. Es ist ja bekannt, dass der Assimilationsprocess nur in solchen Pflanzenzellen zur Geltung kommen kann, welche normalen grünen Chlorophyllfarbstoff enthalten und dem Einflusse des Lichtes ausgesetzt sind. Daraus ergiebt sich unmittelbar, dass die etiolirten im Finstern verharrenden Gewächse nicht selbstständig neue organische Substanz erzeugen können, und dass eine Reihe von physiologischen Processen, welche in den grünen Pflanzenzellen in Folge der Assimilation hervortreten, in ihnen nicht stattfinden. Zur Illustrirung des Gesagten mögen die folgenden Angaben dienen:

Boussingault [2]) säete zwei Bohnensamen in Bimssteinpulver, welches vorher ausgeglüht worden war, aus. Das Pulver wurde genügend feucht erhalten, und während sich die eine Pflanze (A) bei Lichtzutritt entwickelte, verweilte die andere (B) stets im Finstern. Die Untersuchungen führten zu den folgenden Endergebnissen:

		A.		B.
Gewicht des Samen		0.922 Grm.		0.926 Grm.
„ der Pflanze		1.293 „		0.526 „
	Gewinn =	0.371 Grm.	Verlust =	0.360 Grm.
	C „ =	0.1926 „	„ =	0.1598 „
	H „ =	0.0200 „	„ =	0.0232 „
	O „ =	0.1591 „	„ =	0.1766 „

---

1) Das Xanthophyll ist danach nicht mit dem Etiolin, wie man früher meinte, identisch.

2) Boussingault, Comptes rendus. T. 58, p. 883.

Sachs[1]) füllte 10 Blumentöpfe mit Gartenerde an. In die Erde jedes Topfes wurden vier Samen von Tropaeolum majus am 19. April ausgesäet. Am 29. April begannen die Keimknospen die Erde zu durchbrechen, und an diesem Tage begannen die eigentlichen Versuche. Die Pflanzen in den Töpfen wurden den folgenden Beleuchtungsverhältnissen ausgesetzt:

I. 2 Töpfe blieben an einem finstern Orte stehen.

II. 2 Töpfe wurden im Zimmer hinter das die beiden Westfenster trennende Mauerwerk gestellt, wo sie nur reflectirtes diffuses Zimmerlicht erhielten.

III. 2 Töpfe wurden jeden Tag 7 Stunden lang an ein Westfenster gestellt. Die übrige Zeit verweilten sie im Finstern. Die Pflanzen empfingen niemals directes Sonnenlicht.

IV. 2 Töpfe verweilten von 1 Uhr am Nachmittag bis um 6 Uhr am anderen Morgen am Westfenster, den übrigen Theil des Tages aber im Finstern.

V. 2 Töpfe blieben stets am Westfenster stehen.

Am 22. Mai begannen die Pflanzen von I und II zu verderben. Sie wurden sorgsam von anhaftender Erde befreit, getrocknet und gewogen. Vier Pflanzen von III, IV und V wurden am 22. Mai ebenfalls geerntet. Die entleerten Cotyledonen wurden stets mitgesammelt, die Samenhüllen dagegen nicht. Von den Resultaten der Untersuchungen seien hier die folgenden zur Kenntniss gebracht:

Gewicht	von	4	Samen	ohne	Hüllen[2])	0.394 Grm.
Gewicht	der	4	Pflanzen	von	I	0.238 „
„	„	4	„	„	II	0.264 „
„	„	4	„	„	III	0.3012 „
„	„	4	„	„	IV	0.480 „
„	„	4	„	„	V	1.292 „

Schliesslich möchte ich hier noch auf die Resultate einiger Beobachtungen hinweisen, die von mir gemacht worden sind[3]). Ich experimentirte mit Maiskeimlingen. Die aus den Samen hervorgehenden Untersuchungsobjecte entwickelten sich unter folgenden Bedingungen:

---

1) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie. S. 21.

2) Die Samen sowie die geernteten Pflanzen sind bei 110 ° C. getrocknet worden.

3) Vgl. Detmer: Physiolog. Untersuchungen über die Keimung etc. 1875.

I.	Die Pflanzen	entwickelten	sich	4	Wochen	lang	bei	Zutritt	des Lichtes
II.	„	„	„	4	„	„	„	Abschluss	„ „
III.	„	„	„	5	„	„	„	Zutritt	„ „
IV.	„	„	„	5	„	„	„	Abschluss	„ „

Die Ernteergebnisse, bezogen auf je 100 Grm. Samentrockensubstanz, fielen wie folgt aus[1]):

I.	69.10	Grm. Trkensb.
II.	60.19	„ „
III.	57.90	„ „
IV.	51.01	„ „

100 Grm. Samen und die unter I und II angeführten Mengen Pflanzentrockensubstanz enthielten die folgenden Quantitäten Kohlenstoff, Wasserstoff etc.

	100 Grm. Samen enthielten	Nr. I. 69.10 Grm. enthielten	Nr. II. 60.19 Grm. enthielten
C	47.65	34.36	28.96 Grm.
H	7.87	5.51	4.89 „
N	1.71	1.64	1.56 „
Asche	1.50	1.83	1.74 „
O	41.27	25.75	23.08 „

Der Deutung der im Vorstehenden mitgetheilten Untersuchungsergebnisse stehen gar keine Schwierigkeiten im Wege, wenn man nur in Betracht zieht, dass die unter normalen Verhältnissen vegetirenden Pflanzen im Stande sind, neue organische Substanz zu bilden, während die im Finstern zur Entwickelung gelangenden Keimlinge dies nicht vermögen. Zunächst erklärt sich unter Berücksichtigung des Gesagten die Thatsache in einfachster Weise, dass die grünen Pflanzen stets reicher an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff als die etiolirten Pflanzen sind. Etwas complicirter gestalten sich die Verhältnisse hingegen, wenn man den Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffgehalt oder den gesammten Trockensubstanzgehalt der ruhenden Samen mit demjenigen der geernteten Vegetationsproducte vergleicht. Die im Dunkeln erwachsenen Keimlinge sind natürlich stets ärmer an Trockensubstanz als die Samen. Was die grünen Pflanzen anbelangt, so sind dieselben zwar stets reicher an Trockensubstanz als die gleichalterigen etiolirten Keimlinge, aber es zeigt sich häufig, dass die ersteren geringere Trockensubstanzmengen als die ruhenden Samen enthalten. Eine derartige Erscheinung kann sich übrigens nur dann geltend machen, wenn der Assimilationsprocess in den chlorophyllhaltigen Zellen in Folge ungünstiger Beleuch-

1) Die vorhandenen Samenrückstände sind stets mit gewogen worden. Ueberdies sei noch bemerkt, dass die Wurzeln der Untersuchungsobjecte sich während der Entwickelung der Pflanzen stets mit destillirtem Wasser in Contact befanden.

tungsbedingungen oder in Folge sonstiger abnormer Verhältnisse (z. B. Mangel an genügenden Mineralstoffmengen) nicht in ausgiebiger Weise stattfinden kann. Unter diesen Umständen wird in den Pflanzen im Vergleich zu der Quantität organischer Substanz, die neu entsteht, eine bedeutende Menge organischer Substanz in Folge der Stoffwechselprocesse zerstört, während unter durchaus normalen Verhältnissen, obgleich die Substanzmengen, welche zur Verathmung gelangen, ebenso gross wie unter abnormen Bedingungen sein können, die Production von organischer Substanz so bedeutend ausfällt, dass der Trockensubstanzgehalt der Vegetationsproducte denjenigen der ursprünglichen Samen weit übersteigt [1]).

Im Vorstehenden ist immer nur das Verhalten etiolirter Pflanzen mit demjenigen solcher Keimlinge verglichen worden, welche sich unter normalen Verhältnissen, d. h. bei Lichtzutritt und in einer kohlensäurehaltigen Atmosphäre entwickeln. Die soeben angestellten Betrachtungen haben also auch nur für diesen Specialfall Gültigkeit. Andersartig gestalten sich dagegen die Verhältnisse, wenn man eine Parallele zwischen dem Verhalten der Keimpflanzen im Dunkeln und dem Verhalten derselben in einer kohlensäurefreien Atmosphäre unter dem Einflusse der Lichtstrahlen zieht. Unter diesen letzteren Umständen kann das Ergrünen der Chlorophyllkörner nachgewiesenermassen allerdings erfolgen, aber der Assimilationsprocess ist so gut wie ausgeschlossen. Daher rührt es, dass, wie Godlewski [2]) nachgewiesen hat, dass Trockensubstanzgewicht etiolirter Keimpflanzen fast ebenso gross ist, wie dasjenige solcher gleichalterigen Keimlinge, die sich unter dem Einflusse des Lichtes in einer kohlensäurefreien Atmosphäre entwickelt haben, und dass das Trockensubstanzgewicht dieser letzteren in keinem Falle dasjenige der Samen übersteigt.

Mit der hier berührten Verschiedenartigkeit im Verhalten der im Finstern und bei Lichtzutritt erwachsenen Pflanzen steht die Thatsache im genauesten Zusammenhange, dass in den Chlorophyllkörpern grüner Pflanzentheile in Folge des Assimilationsprocesses sogen. autochthone Stärkekörner entstehen können, während die Bildung derselben in solchen Pflanzen, welche sich im Dunkeln entwickeln, nicht möglich ist.

Bereits vor längerer Zeit hat H. v. Mohl den Nachweis geliefert, dass die Chlorophyllkörner grüner Pflanzen Stärkekörner

1) Zur weiteren Orientirung über die hier berührten Verhältnisse weisen wir noch auf die folgenden Abhandlungen hin: A. Vogel, Flora, 1856, S. 386; Karsten, Versuchsstationen, B. 13, S. 180; Detmer, Versuchsstationen, B. 16, S. 212.

2) Vgl. Godlewski: Botan. Zeitung. 1879. Nr. 6.

führen [1]). Sachs hat das Verhalten des Amylum dann ins Besondere eingehend studirt und die Resultate seiner Untersuchungen in verschiedenen für die Pflanzenphysiologie fundamentale Bedeutung besitzenden Abhandlungen niedergelegt [2]). Sachs hat verschiedene Keimpflanzen längere Zeit im Dunkeln cultivirt, um die Untersuchungsobjecte alsdann, nachdem die ursprünglich vorhanden gewesenen Reservestoffe völlig oder bis auf Spuren verschwunden waren, dem Einflusse des Lichtes auszusetzen. Die vorhandenen Chlorophyllkörper ergrünten nun zunächst. Weiterhin treten dann Amylumkörner in ihnen auf, und da nun die Beobachtungen von Sachs selbst sowie alle neueren Untersuchungen, welche mit genügender Sachkenntniss ausgeführt wurden [3]), ergeben haben, dass der hier in Rede stehende Process der Amylumbildung sich genau von denselben Bedingungen abhängig erweist wie der Vorgang der Kohlensäurezersetzung in den Pflanzenzellen, so ist die herrschende Auffassung, wonach die autochthone Stärke in Chlorophyllkörpern als directes Assimilationsproduct aufgefasst wird, als eine durchaus berechtigte anzusehen. Werden grüne Pflanzentheile, deren Chlorophyllkörper Stärkeeinschlüsse führen, dem Einfluss des Lichts entzogen, so verschwindet das Amylum nach und nach aus den Assimilationsorganen. Dieselben haben aber damit ihre Fähigkeit, Stärke zu bilden, noch nicht verloren, denn es genügt, die Pflanzentheile dem Einflusse des Lichts aufs Neue auszusetzen, um das Auftreten von Amylum in den Chlorophyllkörpern wieder hervorzurufen [4]) [5]).

---

1) Vgl. H. v. Mohl: Botan. Zeitung. 1855. S. 113.

2) Vgl. Sachs: Botan. Zeitung, 1862, Nr. 44 und Botan. Zeitung, 1864, S. 292.

3) Namentlich verdienen hier die Untersuchungen von Godlewski (vgl. Flora, 1873, S. 378 und v. Moll (landwirthschl. Jahrbücher, B. 6, S. 327) Beachtung. Beide Forscher zeigten, dass in den Chlorophyllkörpern solcher Pflanzentheile, die in einer kohlensäurefreien Atmosphäre verweilen, keine nachweisbaren Stärkemengen entstehen.

4) Die Bildung der Stärke in Chlorophyllkörpern geht im Lichte, wenn alle Bedingungen dazu günstig sind, oft mit grosser Geschwindigkeit vor sich. So fand Kraus (vgl. Pringsheim's Jahrbücher, B. 8, S. 511) dass, wenn man stärkefreie Spirogyrafäden dem diffusen Licht aussetzt, die Amylumbildung nach Verlauf von zwei Stunden deutlich hervortritt. Werden die Algenzellen dem directen Sonnenlicht exponirt, so bildet sich bereits binnen fünf Minuten Stärke in den Chlorophyllkörpern.

5) Auf die neuesten Untersuchungen Pringsheim's (vgl. Monatsbericht d. Akdm. d. Wiss. zu Berlin, 1879, Juli und November), die zu den hier berührten Verhältnissen in Beziehung stehen, und in denen namentlich das Verhalten des Hypochlorins eingehender besprochen wird, kann ich leider nicht mehr eingehen.

Schliesslich wollen wir in diesem Capitel auf einen sehr merkwürdigen, für unsere weiteren Erörterungen über das Wachsthum der Keimpflanzen grosse Bedeutung besitzenden Unterschied hinweisen, der zwischen den etiolirten und den bei Lichtzutritt zur Entwickelung gelangten Pflanzen besteht.

Es ist nämlich zu bemerken, dass der Wassergehalt normaler und etiolirter Pflanzen ein verschiedenartiger ist, indem nämlich die ersteren im Allgemeinen procentisch ärmer an Wasser, dagegen reicher an Trockensubstanz als die letzteren sind. Bei der experimentellen Behandlung der mit den hier angedeuteten Verhältnissen im Zusammenhange stehenden Fragen ist es selbstverständlich erforderlich, die Untersuchungsobjecte zum Theil im Finstern, andere aber unter Lichteinfluss zu cultiviren und Sorge dafür zu tragen, dass die übrigen Vegetationsbedingungen für sämmtliche Pflanzen möglichst genau dieselben sind. Die Frage nach dem Wassergehalt etiolirter und normaler Keimpflanzen ist bereits von verschiedenen Forschern näher ins Auge gefasst worden, und ich will hier zunächst auf die thatsächlichen Resultate einiger bezüglichen Arbeiten hinweisen.

Karsten[1]) hat Schminkbohnen einerseits in einem hellen, andererseits in einem verdunkelten Zimmer cultivirt, die Untersuchungsobjecte nach bestimmter Zeit in ihre einzelnen Organe zerlegt und den Trockensubstanzgehalt derselben ermittelt. Dabei gelangte er zu den in der folgenden kleinen Tabelle zusammengestellten Ergebnissen:

	Trockensubstanzgehalt der Pflanzen der Lichtreihe.	Trockensubstanzgehalt der Pflanzen der Dunkelreihe.
Blätter	15.878 %	16.959 %
Stiele der Primordialblätter	10.646 „	6.668 „
Erstes Internodium	13.090 „	8.731 „
Zweites und drittes Internodium	12.100 „	8.194 „
Wurzeln	8.379 „	7.509 „
Cotyledonen	21.554 „	17.574 „
Ganze Pflanze	15.602 „	11.431 „

Einige von mir ausgeführte Untersuchungen, welche unter anderem den Zweck hatten, Aufschluss über den Wassergehalt etiolirter und unter mehr oder weniger normalen Verhältnissen erwachsener Pflanzen zu gewinnen, wurden derartig angestellt, dass sich die Keimpflanzen, deren Wurzeln sich in einem

1) Vgl. Karsten, Versuchsstationen. B. 13, S. 184.

geeigneten Bodenmaterial ausbildeten, zwar unter verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen, aber sämmtlich in ein und demselben nach Norden gelegenen Raume entwickelten[1]). Um die Keimpflanzen verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen auszusetzen, gelangten dieselben in Holzkästen von beträchtlicher Grösse, deren vordere Wand durch Glasplatten ersetzt werden konnte. In den Kasten Nr. 1 wurde nämlich eine gewöhnliche Glasplatte, in den Kasten Nr. 2 eine Milchglasplatte, in den Kasten Nr. 3 wurden zwei und in den Kasten Nr. 4 drei Milchglasplatten eingeschoben. In den Kasten Nr. 5 konnte überhaupt kein Licht eindringen. Die Temperatur in den verschiedenen Apparaten war, da dieselben nicht von directen Sonnenstrahlen getroffen wurden, stets fast genau die nämliche. Das zum begiessen des Bodens, in welchem die Pflanzen wurzelten, dienende Wasser wurde den unter verschiedenen Bedingungen vegetirenden Untersuchungsobjecten in gleichen Quantitäten zugemessen. Die nach Abschluss der Vegetationsversuche, welche mit Bohnenpflanzen (Vicia Faba) durchgeführt worden sind, vorgenommenen Trockensubstanzbestimmungen führten zu folgenden Resultaten:

Wassergehalt der oberirdischen Organe der Pflanzen aus Kasten.

Nr. 1 = 87.4 %
„ 2 = 88.7 „
„ 3 = 90.9 „
„ 4 = 91.7 „
„ 5 = 95.9 „

Bei seinen hier ferner in Betracht zu ziehenden Untersuchungen hat Godlewski[2]) Samen von Raphanus nach dem Einquellen in Wasser in Gartenerde ausgesäet und die jungen Pflanzen entweder im Finstern oder bei Lichtzutritt, aber in einer kohlensäurefreien Atmosphäre zur Entwickelung gelangen lassen. Die Temperaturverhältnisse waren für die sich unter verschiedenen Beleuchtungsbedingungen ausbildenden Keimlinge fast genau dieselben. Eine Versuchsreihe, welche 5 Tage lang bei 21—27° C. fortgeführt wurde, lieferte z. B. die folgenden Ergebnisse:

---

1) Vgl. Detmer, Versuchsstationen. B. 16, S. 205.
2) Vgl. Godlewski, Botan. Zeitung. 1879. Nr. 6.

Name der Pflanzentheile	Lebendgew. in Mlgrm. [1]		Gew. d. organischen Trockensubstanz. absolutes Gew. in Mlgrm.		in $^0/_0$ des Gew. der frisch. Substanz	
	grün	etiolirt	grün	etiolirt	grün	etiolirt
Cotyledonen	83.20	24.2	4.28	2.31	5.2	9.55
Cotyledonarstiele	14.26	14.3	0.58	0.43	4.1	3.0
Hypocotyles Glied	39.66	184.0	1.18	2.81	3.0	1.53
Wurzel	24.36	26.4	0.94	0.95	3.8	3.6
Ganze Pflanze	161.48	248.9	6.98	6.50	4.3	2.6

Den Resultaten der sämmtlichen hier zur Kenntniss gebrachten Untersuchungen gegenüber, wonach die etiolirten Pflanzen also wasserreicher als gleichalterige normale erscheinen, liesse sich nun aber noch ein Bedenken erheben, welches zunächst beseitigt werden muss.

Es ist nämlich zu beachten, dass nach Untersuchungen, die von Baranetzky[2]) und nach anderen, welche von mir ausgeführt worden sind[3]), das Licht als solches die Transpiration der Pflanzen steigert, und man könnte somit also zu der Annahme hinneigen, dass die bei Lichtzutritt cultivirten Pflanzen nur deshalb weniger Wasser als die etiolirten Keimlinge enthalten, weil sie mehr Wasser als diese letzteren in Folge des Verdunstungsprocesses verlieren. Eine intensivere Transpiration der Pflanzen hat aber, wie bekannt ist, auch eine lebhaftere Wasseraufnahme seitens der Wurzeln im Gefolge, und wenn der Einfluss eines die Wasserverdunstung steigernden Moments sich nicht in sehr energischer Weise geltend macht, wenn den Wurzeln der Pflanzen ferner stets reichliche Wassermengen zur Disposition stehen, so wird eine etwas lebhaftere Wasserabgabe seitens der Pflanzen offenbar keine sehr bedeutende Rückwirkung auf den Wassergehalt derselben ausüben können. Die thatsächlich beobachteten Differenzen im Wassergehalt grüner und etiolirter Pflanzen sind viel zu bedeutend, als dass sich dieselben auf eine durch das Licht bedingte Steigerung der Transpiration zurückführen liessen; vielmehr müssen die Ursachen der constatirten Erscheinungen, worauf wir spä-

1) Die sämmtlichen in dieser Tabelle mitgetheilten Gewichtsangaben repräsentiren Mittelwerthe und beziehen sich auf eine Keimpflanze. Das Durchschnittsgewicht eines einzelnen der zu dem Versuche benutzten Samen betrug 9.7 Mlgrm.

2) Vgl. Baranetzky, Botan. Zeitung. 1875. Nr. 5.

3) Vgl. Detmer, Beiträge zur Theorie des Wurzeldrucks. Preyer's Sammlung physiologischer Abhandlungen. B. 1. H. 8.

ter zurückkommen werden, in ganz anderen Verhältnissen begründet sein.

Wenn man die im Vorstehenden mitgetheilten Zahlenangaben überblickt, so zeigt sich vor allen Dingen, dass die etiolirten Pflanzen, stets die gesammten Keimlinge ins Auge gefasst, immer wasserreicher als die grünen erscheinen. Vergleicht man ferner den Wassergehalt der einzelnen Organe der unter verschiedenen Bedingungen erwachsenen Untersuchungsobjecte, so ergiebt sich vor allen Dingen, dass die Stammgebilde etiolirter Pflanzen stets wasserreicher als diejenigen grüner sind. Minder deutlich tritt dasselbe Verhältniss bei den Wurzeln hervor. Die Blattgebilde etiolirter Pflanzen, welche unter dem Einflusse der Finsterniss keine Ueberverlängerung erfahren, scheinen hingegen stets wasserärmer als die entsprechenden Organe grüner Pflanzen zu sein. Dies ergiebt sich nicht nur bei der Betrachtung der von Karsten gewonnenen Resultate, denen gegenüber allerdings einige Bedenken kaum unterdrückt werden können, sondern ebenso unter Berücksichtigung derjenigen Ergebnisse, zu denen Godlewski bei seinen mit Raphanuskeimlingen und mit Phaseoluskeimpflanzen ausgeführten Untersuchungen gelangte. Der zuletzt genannte Forscher hat dagegen feststellen können, dass die etiolirten, überverlängerten Blätter von Zea wasserreicher als die grünen sind, und wenngleich die Forschungen über die hier berührten Verhältnisse auch noch nicht zu einem befriedigenden Abschlusse gebracht worden sind, so scheinen doch bereits die vorliegenden Angaben darauf hinzudeuten, dass diejenigen etiolirten Pflanzentheile (Stamm- sowie Blattgebilde), welche eine Ueberverlängerung erfahren haben, wasserreicher als die entsprechenden grünen Pflanzentheile sind, während solche (Blattgebilde), die bei Lichtmangel weniger lebhaft als unter dem Einflusse normaler Beleuchtungsverhältnisse wachsen, geringere Wasserquantitäten als die grünen enthalten.

Zweites Capitel.

Die Formbildung etiolirter Pflanzen.

Die tägliche Erfahrung lehrt, dass Pflanzen, welche sich im Finstern, z. B. in einem dunkeln Keller entwickeln, sich mit Rücksicht auf die Gestaltungs- und Dimensionsverhältnisse ihrer einzelnen Theile in sehr wesentlicher Weise von normal ausgebildeten

grünen Pflanzen unterscheiden. Es ist deshalb nicht zu verwundern, dass bereits die älteren Physiologen sich bestrebten, die Phänomene, um welche es sich hier handelt, zu constatiren und den Ursachen nachzuforschen, welche diesen merkwürdigen Erscheinungen zu Grunde liegen.

Schon Bonnet[1]) hat die sich auf das Etiolement der Pflanzen beziehenden Verhältnisse einer experimentalen Behandlung unterzogen, und zwar studirte er das Verhalten von Erbsen- sowie von Bohnenkeimpflanzen und von Rebenzweigen. Die sich aus den Samen oder Knospen entwickelnden Pflanzentheile blieben entweder dem Lichteinflusse ausgesetzt, oder sie bildeten sich im Finstern (unter einem Kasten) aus, und Bonnet äussert sich z. B. wie folgt über die Resultate seiner Untersuchungen:

„Die Pflanze (Erbsenkeimpflanze), welche in dem Kasten gewachsen war, hatte sich aufs äusserste übertrieben. Sie hatte einen sehr langen, sehr dünnen und schneeweissen Stengel getrieben, auf welchem sich oben drei sehr kleine blassgrüne Blätter zeigten, deren Gestalt kaum zu erkennen war.“

Bonnet bemerkt ferner:

„Von allen diesen Versuchen ist der Erfolg dieser gewesen, dass die Erbsen sich dem Ansehen nach desto stärker übertrieben haben, je grösser die Dunkelheit gewesen ist, in welcher sie aufgewachsen sind.“

Die Erscheinung des Etiolements lässt sich nach Bonnet dahin charakterisiren, dass die im Dunkeln erwachsenen Pflanzentheile ein bleiches Aussehen zeigen und viel längere Internodien, aber viel kleinere Blätter als die normalen grünen Gewächse besitzen. Diese Charakteristik passt aber nur, wie weiter unten gezeigt werden soll, für das Etiolement gewisser Pflanzen; sie hat keine allgemeine Gültigkeit.

Neben Bonnet haben sich ebenfalls Du Hamel[2]), sowie Sennebier[3]) über die Etiolirungsphänomene ausgesprochen. Der letztere bemerkt z. B. zur Charakteristik etiolirter Pflanzen:

„Ils ont non-seulement cette couleur quelquefois plus pâle; mais ils ce font encore remarquer par l'allongement extraordinaire de leurs tiges et par la petitesse de leurs feuilles.“

---

1) Vgl. Bonnet, Untersuchungen über den Nutzen der Blätter bei den Pflanzen. Deutsch von Arnold. 1762. Vgl. zumal S. 123 und S. 189.

2) Vgl. Du Hamel, Phys. des arbres. Deutsch von Schöllenbach. 1764 u. 65. B. 2 S. 137.

3) Vgl. Sennebier, Physiol. végétale. 1800. T. 4 p. 265.

Ueberdies bemerkt Sennebier noch, dass etiolirte Pflanzen nicht lange leben, sondern bald zu Grunde gehen, dass sie mehr Wasser, aber weniger Kohlenstoff als grüne Pflanzen enthalten [1]), dass etiolirte Pflanzen, wenn man sie dem Einflusse des Lichtes aussetzt, ergrünen, und dass grüne Pflanzen, welche ins Finstere gebracht worden sind, etiolirte Sprosse treiben.

Göthe [2]) spricht sich in seiner Farbenlehre über die Etiolirungserscheinungen wie folgt aus:

„Die im Finstern aus Samen erzogenen Pflanzen sind weiss oder ins Gelbe ziehend. Das Licht hingegen, indem es auf ihre Farben wirkt, wirkt zugleich auf ihre Form. Die Pflanzen, welche im Finstern wachsen, setzen sich von Knoten zu Knoten zwar lange fort, aber die Stengel zwischen den Knoten sind länger als billig; keine Seitenzweige werden erzeugt, und die Metamorphose der Pflanzen hat nicht statt. Das Licht versetzt sie dagegen sogleich in einen thätigen Zustand u. s. w."

Die Untersuchungen De Candolle's [3]) über das Etiolement haben, was die Constatirung der Erscheinungen selbst anbelangt, keinen wesentlichen Fortschritt unserer Erkenntniss herbeigeführt [4]); dagegen muss bemerkt werden, dass der genannte Forscher mit Rücksicht auf die Ursachen der Ueberverlängerung etiolirter Pflanzentheile eine an das Richtige streifende Meinung äusserte [5]).

Eine wesentliche Förderung erfuhr unsere Kenntniss der Etiolirungserscheinungen durch Untersuchungen von Sachs [6]). Es erschien nämlich vor allen Dingen wichtig, die Phänomene, welche bei dem Etiolement verschiedener Gewächse hervortreten, zunächst genau zu constatiren, denn alle Erwägungen über die Ursachen der merkwürdigen Gestaltbildung im Dunkeln vegetirender Pflanzen mussten ja ohne genügende Kenntniss der Erscheinungen selbst auf schwankendem Boden ruhen. Sachs stellte nun zunächst unzweifelhaft fest, dass sich durchaus nicht sämmt-

---

1) Vgl. Sennebier, Ebendaselbst p. 277.

2) Vgl. Göthe's sämmtliche Werke. Cottasche Ausgabe in 6 Bänden. B. 6 S. 194.

3) Vgl. De Candolle, Physiol. végétale. 1832. T. 3 p. 1079.

4) Uebrigens hat schon De Candolle beobachtet, dass sich die Corollen der Blüthen in tiefster Finsterniss färben können.

5) Nach De Candolle soll nämlich die Ueberverlängerung etiolirter Pflanzentheile in einem Zusammenhang mit der geringen Festigkeit und grossen Dehnbarkeit derselben stehen. Uebrigens hatte bereits Hales (Vegetable Staticks, 1727) auf ähnliche Verhältnisse hingewiesen.

6) Vgl. Sachs, Botan. Zeitung. 1863. Beilage.

liche Blätter im Finstern derartig verhalten, wie das früher angenommen worden war.

Bei monocotylen Pflanzen (Zea, Triticum, Crocus, Iris, Hyacinthus, Tulipa, Allium Cepa) erreichen die Blätter im Finstern nicht in jeder Beziehung geringere Dimensionen als unter dem Einflusse des Lichtes, vielmehr zeigen die etiolirten Blätter eine bedeutendere Länge als die normalen, während sie allerdings nicht die Breite dieser letzteren erreichen. Bei Abschluss des Lichtes erwachsene Blätter von Crocus vernus erreichten z. B. eine Länge von 30 Cm., während die bei Lichtzutritt zur Entwickelung gelangten Blätter derselben Pflanze kaum 10 Cm. lang wurden. Die etiolirten Blätter zeigten aber nur ein Drittel von der Breite der normalen Organe. Wurden die Crocuspflanzen an das Licht gebracht, so erreichten die Blätter in einigen Tagen ihre normale Breite. Die Blätter einer im Finstern erzogenen blühenden Hyacinthe waren doppelt so lang wie die bei Lichtzutritt erwachsenen Blätter derselben Pflanzenspecies. Dagegen zeigten die etiolirten Blätter eine nur sehr beschränkte Breitenentwickelung.

Ganz anders wie die Blätter monocotyler Pflanzen verhalten sich diejenigen der meisten dicotylen Gewächse. Bei Tropaeolum, Phaseolus, Humulus etc. sind die etiolirten Blätter stets und allseitig kleiner als die normalen. Bei zwei gleichzeitig gekeimten Pflanzen von Phaseolus hatte die Lamina der eben über den Boden hervortretenden Primordialblätter eine Länge von 15—16 Mm. Die Blätter der einen Pflanze, welche bei Lichtzutritt weiter cultivirt wurde, erreichten eine Länge von 62—64 Mm. Die Blätter der etiolirten Pflanze besassen eine Länge von 33—36 Mm. Die Breite der etiolirten Blätter blieb, wie die Länge derselben, erheblich hinter derjenigen der grünen Blätter zurück. Die Blattstiele der Blätter von Phaseolus, welche sich im Dunkeln ausbilden, verhalten sich wesentlich anders als die Blattspreiten; sie entwickeln sich nämlich ähnlich wie die meisten Internodien, und erreichen in Folge dessen eine beträchtlichere Länge als die unter normalen Umständen erwachsenen Blattstiele[1]). Aehnlich wie die gewöhnlichen Laubblätter der meisten Dicotyledonen verhalten sich die Cotyledonen, welche unter dem Einflusse des Lichts ergrünen, bei dem Zustandekommen des Etiolements (Cotyledonen von Cucurbita

1) Aehnlich wie die Blattstiele von Phaseolus verhalten sich diejenigen von Tropaeolum majus. Dagegen sind die etiolirten Blattstiele von Apium graveolens kürzer als die normalen. Man vgl. Kraus, Pringsheim's Jahrbücher, B. 7, S. 251.

und Brassicaarten etc.). Analoge Erscheinungen lassen die sich im Dunkeln ausbildenden Farrenwedel erkennen. Bemerken will ich noch, dass die etiolirten Blätter von Beta vulgaris nach Sachs eine relativ bedeutende Grösse erreichen, und dass sich die Blätter von Tragopogon porrifolius im Finstern wesentlich anders als diejenigen der erwähnten dicotylen Gewächse verhalten. Die im Finstern aus den Wurzelstöcken von Tragopogon erzeugten Blätter erreichen nämlich dieselbe Länge wie die bei Lichtzutritt erwachsenen.

Mit Rücksicht auf das Etiolement der Internodien hat Sachs, wie bei den Blättern, die principiell wichtige Thatsache constatiren können, dass sich die entsprechenden Glieder verschiedener Pflanzen im Finstern nicht gleichartig verhalten. Allerdings ist die Erscheinung der Ueberverlängerung der etiolirten Internodien eine sehr gewöhnliche, und namentlich bei den ersten Stammgebilden der Keimpflanzen sowie den Knollentrieben eine sehr deutlich hervortretende, aber sie macht sich dennoch nicht in allen Fällen geltend.

Das hypocotyle Stengelglied von Polygonum Fagopyrum kann im Finstern eine Länge von 35—40 Cm. erreichen, während dasselbe im Licht oft nur 1 Cm. lang wird. Das hypocotyle Glied von Cucurbita erreicht in der Dunkelheit eine Länge von 40 bis 50 Cm. Im Freien wird es nur 3—4 Cm. lang, und an der hinteren Wand eines Zimmers erreicht es eine Länge von 15 Cm. Bei Phaseolus multiflorus und Tropaeolum majus, wo die Cotyledonen unter der Erde verbleiben, verlängert sich das hypocotyle Glied im Finstern nicht besonders; das zweite Stengelglied hingegen, welches dazu bestimmt ist, die ersten Laubblätter schnell an das Licht zu bringen, bildet sich im Finstern weit länger als unter normalen Verhältnissen aus. Bei Hyacinthus orientalis, Tulipa Gesneriana und Iris pumila erhebt sich der weisse Blüthenschaft im Finstern zwei bis dreimal so hoch wie unter dem Einflusse des Lichts.

Neben solchen Internodien, welche im Finstern eine bedeutende Ueberverlängerung erfahren, existiren aber auch solche, deren Wachsthum durch den Einfluss des Lichts keine Verzögerung erleidet, die vielmehr sowohl im Dunkeln als auch bei Lichtzutritt dieselbe Länge erreichen. Derartiges ist z. B. bei den Knollentrieben von Dioscorea Batatas und den Hopfensprossen der Fall. Sachs hat schliesslich noch constatirt, dass die Ansicht, wonach etiolirte Internodien stets einen geringeren Durchmesser als normale besitzen sollen, keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen kann. Bei Tropaeolum majus und vielen anderen Pflanzen sind die

im Dunkeln erwachsenen Stengeltheile allerdings dünner als gleichaltrige grüne Internodien; indessen existiren Ausnahmen von dieser Regel, und Sachs fand z. B., dass das Stengelglied von Phaseolus über den Cotyledonen, mag dasselbe im Finstern oder bei Zutritt des Lichts zur Entwickelung gelangt sein, stets dieselbe Dicke besitzt [1][2]).

Erwähnenswerth dürfte im Anschluss an das Gesagte der Hinweis auf das Verhalten der sich im Finstern entwickelnden Blüthen sein [3]). Sachs fand, dass etiolirte Keimpflanzen von Phaseolus vulgaris, Vicia Faba und Cucurbita Pepo, wenn dieselben das Ende ihrer Entwickelung erreicht hatten, die ersten Blüthenknospenanlagen besassen. Bei diesen und anderen Pflanzen erfolgt die volle Blüthenentwickelung nicht, wenn dieselben während ihrer gesammten Vegetationszeit von keinem Lichtstrahle getroffen werden; sie tritt hingegen ein, wenn die Untersuchungsobjecte sich zunächst normalen Vegetationsbedingungen ausgesetzt befinden, um schliesslich zur Blüthezeit ins Finstere zu gelangen. Andersartig gestalten sich die Verhältnisse bei Hyacinthus, Iris und Tulipa, denn in diesen Fällen bilden sich die Blüthen selbst dann aus, wenn die Pflanzen von Beginn ihrer Entwickelung an im Finstern verweilt haben. Man sieht also, dass die Blüthenentwickelung, wenn nur genügende Quantitäten plastischer Stoffe zur Disposition stehen, bei Lichtabschluss erfolgen kann, und es ist überdies zu bemerken, dass die Blüthen vieler im Finstern cultivirter Pflanzen sogar dieselbe Färbung und die nämlichen Gestaltverhältnisse wie die unter normalen Bedingungen erwachsenen Blüthen zeigen. Ausnahmen von dieser Regel kommen übrigens nicht gar selten vor [4]).

---

1) Kraus (vgl. Pringsheim's Jahrbücher, B. 7, S. 232) giebt noch an, dass das hypocotyle Glied von Lupinus Termis im etiolirten Zustande doppelt so dick wie im normalen ist.

2) Hervorheben will ich hier noch, dass nach Sachs (vgl. botan. Zeitung, 1863, Beilage, S. 5) etiolirte Pflanzen normal ausgebildete Spaltöffnungen besitzen. Derselbe Forscher (vgl. Lehrbuch d. Botanik, 4. Auflage, S. 721) giebt auch an, dass im Dunkeln erwachsene Sprosse Haare erzeuge, deren Plasma strömende Bewegungen erkennen lässt.

3) Man vgl. über diese Verhältnisse Sachs Experimentalphysiologie, S. 33 und Askenasy, botan. Zeitung, 1876, No. 1.

4) So können z. B. die Perigonröhren von Crocus und Colchicum etioliren. Etiolirungserscheinungen werden übrigens ebenfalls an anderweitigen nicht grünen Pflanzentheilen und ganzen Pflanzen beobachtet. Wir werden sehen, dass sich Wurzeln im Finstern weit beträchtlicher als bei Zutritt des Lichts verlängern können, und Brefeld (vgl. Separatabdruck aus den Sitzungsberichten d. Gesell. naturf.

Beachtenswerth ist hier noch die ebenfalls von Sachs[1]) constatirte Thatsache, dass die Ueberverlängerung von Internodien nicht nur durch Lichtabschluss, sondern ebenso dadurch herbeigeführt werden kann, dass man Lichtstrahlen von bestimmter Brechbarkeit von den Pflanzen fern hält. So cultivirte Sachs im Boden wurzelnde Keimpflanzen von Linum usitatissimum, Brassica oleracea und Sinapis alba in geeigneten Apparaten derartig, dass sie entweder vom unzerlegten weissen Licht, oder nur von Lichtstrahlen getroffen wurden, die entweder eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali oder eine Lösung von Kupferoxydammoniak passirt hatten. Die Pflanzen, welche sich unter dem Einflusse des Lichts von geringerer Brechbarkeit entwickelt hatten, besassen im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsobjecten überverlängerte Internodien, während die blauen, violetten sowie ultravioletten Strahlen das Wachsthum der Keimlinge in auffallender Weise verzögerten. Die unter diesen letzteren Bedingungen erwachsenen Pflanzen liessen das Vorhandensein heliotropischer Krümmungen deutlich erkennen; die überverlängerten Internodien aber, welche sich lediglich dem Einflusse solcher Lichtstrahlen, die eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali passirt hatten, ausgesetzt befanden, blieben völlig gerade[2]). Die vorliegenden Untersuchungen lassen darüber keinen Zweifel bestehen, dass nicht die minder brechbaren, sondern gerade die brechbaren Strahlen des Lichts, welche die Kupferlösung passiren, die Wachsthumsverhältnisse der Internodien in erster Linie beeinflussen. Daher ist zu vermuthen, dass die brechbaren Strahlen ebenso bestimmend für das Wachsthum der Blätter an sich sind. Sachs giebt zwar in seiner zuletzt citirten Abhandlung an, dass die Blätter dicotyler Gewächse hinter einer Lösung von chromsaurem Kali grösser wurden[3]), als hinter

---

Freunde zu Berlin, 1877, S. 4) hat gefunden, dass der Hut eines Pilzes (Cuprinus stercorarius) in constanter Finsterniss sehr klein bleibt, während dagegen sein Stiel eine abnorme Länge erreicht.

1) Vgl. Sachs, Botan. Zeitung, 1864, S. 371 und Lehrbuch d. Botanik, 1874, S. 707 u. 727.

2) Nach Wiesner (vgl. Separatabdruck aus den Denkschriften d. Akdm. d. Wiss. in Wien, B. 39, S. 50) ist das Licht, welches durch eine Lösung von doppelt-chromsaurem Kali hindurch gegangen ist, im Stande, schwache heliotropische Krümmungen hervorzurufen; aber allerdings sind die brechbaren Strahlen, welche die Kupferoxydammoniakflüssigkeit passirt haben, in der hier in Rede stehenden Beziehung viel wirksamer.

3) Weisses Licht begünstigte das Wachsthum der Blätter noch mehr als das durch die Lösung von chromsaurem Kali gegangene Licht.

der Kupferlösung, aber es ist zu beachten, dass im ersteren Falle die Assimilation, welche im blauen Licht fast völlig ausgeschlossen blieb, lebhaft zur Geltung kommen konnte. Die hier angeregte Frage kann daher erst mit Bestimmtheit beantwortet werden, wenn man Pflanzen unter dem Einfluss verschiedener Lichtstrahlen in kohlensäurefreier Atmosphäre cultivirt hat.

Ich will weiter noch mit Bezug auf das Etiolement der Pflanzen erwähnen, dass die Erscheinungen desselben nicht nur leicht zu constatiren sind, wenn man die Gestaltbildung im Dunkeln erwachsener und bei Lichtzutritt cultivirter Pflanzen mit einander vergleicht, sondern dass bereits Pflanzen, die im wenig intensiven Licht zur Entwickelung gelangt sind, ein ganz anderes Aussehen als solche zur Schau tragen, die sich bei unbehindertem Zutritt der Lichtstrahlen ausbildeten. Ich habe z. B. Bohnenpflanzen, deren Wurzeln sich in einem Bodenmaterial entwickelten, dem Einfluss verschiedenartiger Beleuchtungsverhältnisse ausgesetzt, die Untersuchungsobjecte aber übrigens ganz gleichartig behandelt [1]). Der Versuch ergab namentlich, dass die bei intensiverer Beleuchtung erwachsenen Pflanzen die kürzesten Internodien besassen. Verminderte Lichtintensität bewirkte bereits eine Ueberverlängerung der Stengeltheile, und dieselbe trat natürlich an den im Finstern erwachsenen Untersuchungsobjecten am deutlichsten hervor.

Auch L. Koch [2]), der vor einigen Jahren ganz interessante Untersuchungen über die Ursache des Lagerns des Getreides, speciell des Winterroggens, ausführte, hat gefunden, dass Beschattung der Pflanzen Etiolirungserscheinungen hervorruft. Die Untersuchungsobjecte, an denen Koch seine Experimente anstellte, entwickelten sich auf einem Versuchsfelde. Eine Anzahl der Pflanzen blieben unbeschattet, andere wurden aber dadurch dem Einflusse des Lichts theilweise entzogen, dass der Experimentator den unteren Theil der Pflanzen mit Thonröhren von 7 Cm. Durchmesser umgab. Die beschattet gewesenen Internodien zeigten nach Abschluss der Versuche eine erhebliche Ueberverlängerung. Weiter constatirte Koch, dass die Zellen der theilweise etiolirten Internodien eine beträchtlichere Länge als diejenigen der normal ausgebildeten Pflanzentheile erfahren hatten, dass die beschattet gewesenen Stengeltheile einen geringeren Durchmesser als die nor-

1) Vgl. Detmer, Versuchsstationen. B. 16. S. 205.

2) Vgl. L. Koch: Landwirthschaftl. Centralblatt. 1872. S. 202.

malen zeigten, und dass die Membranen theilweise etiolirter Zellen eine weit geringere Dicke als die Membranen normal ausgebildeter Zellen besassen. Zur Illustration des zuletzt erwähnten Verhältnisses mögen die folgenden Zahlen, welche Mittelwerthe aus vielen einzelnen Messungen repräsentiren, angeführt werden:

Dicke der Zellmembranen in Mm.

Epidermiszellen.		Markzellen.	
Normale.	Etiolirte.	Normale.	Etiolirte.
0.00682	0.002648	0.00187	0.000757

Wir dürfen unsere Betrachtungen über die Formbildung etiolirter Internodien und Blätter nicht abschliessen, ohne auf einige Verhältnisse hingewiesen zu haben, die manchen im Dunkeln erwachsenen Pflanzen ein ganz eigenthümliches Aussehen verleihen und bisher noch keine Erwähnung gefunden haben.

„Stengelglieder, welche sich im Finstern stark verlängern" so sagt Sachs[1]), „erfahren, wenn das Längenwachsthum nachzulassen beginnt, eine Drehung, wie sie bei den windenden Stämmen der Schlingpflanzen, wenn dieselben keine Stütze finden, eintritt."

Interessant ist nun ins Besondere dieses, dass manche Pflanzentheile diese Torsionserscheinungen nur dann zeigen, wenn sie sich im Finstern zu beträchtlicher Länge ausbilden, während sie unter normalen Verhältnissen kurz bleiben und keine Torsion erfahren. Torsionserscheinungen sind z. B. an vielen etiolirten hypocotylen Stengeltheilen (Mirabilis Jalappa, Helianthus annuus) sowie an dem etiolirten Blüthenschaft von Hyacinthus beobachtet worden.

Kraus[2]) hat ebenfalls auf die hier in Rede stehenden Verhältnisse aufmerksam gemacht. Er hebt besonders hervor, dass er die Torsionserscheinungen an dem hypocotylen Gliede sämmtlicher Keimpflanzen, die er benutzte, habe beobachten können, und sieht die Grundursache des Zustandekommens der schraubenförmigen Drehungen darin, dass die Zellen der peripherischen Gewebe etiolirter Internodien einen prosenchymatischen Charakter annehmen, und dass nun die Spitzen der Zellen beim Zwischeneinanderschieben sich stetig nach einer Seite ausweichen[3]).

---

1) Vgl. Sachs: Botan. Zeitung. 1863. Beilage, S. 16.

2) Vgl. Kraus, Pringsheim's Jahrbücher. B. 7. S. 250.

3) Sachs giebt in seiner citirten Abhandlung noch an, dass schraubenförmige Drehungen ebenfalls bei etiolirten Blättern vorkommen.

Sachs[1]) sowie Kraus[2]) haben ferner darauf hingewiesen, dass etiolirte Blätter häufig eine muschelförmige Gestalt annehmen. Ganz ausgezeichnet kann man dies Phänomen an den Blättern etiolirter Pflanzen von Helianthus tuberosus wahrnehmen, und ich habe selbst Gelegenheit gehabt, die Erscheinung an den im Dunkeln erwachsenen Blättern dieser Composite zu beobachten. Die Ursache der eigenthümlichen Gestaltbildung etiolirter Blätter ist darin zu suchen, dass die Gewebe der concav werdenden Unterseite in ihrer Entwickelung mehr als diejenigen der Oberseite zurückbleiben (im Verhältniss zur Normalentwickelung genommen). Durch anatomische Untersuchung hat Kraus festgestellt, dass die unterseitigen Mesophyll- und Epidermiszellen beim Etioliren den normalen gegenüber in der Flächenentwickelung sehr beträchtlich, die oberseitigen kaum etwas zurückbleiben. Bei Philadelphus coronarius betrugen z. B. die Dimensionen der Epidermiszellen in Richtung der Blattfläche:

	Oberseit. Epidermiszellen.	Unterseit. Epidermiszellen.
Normal	0.033 Mm.	0.0279 Mm.
Etiolirt	0.030 „	0.0181 „ [3]).

Bisher ist immer nur Rücksicht auf die Etiolirungserscheinungen der Stengel- und Blattgebilde der Pflanzen genommen worden. Es erübrigt noch, dem Verhalten der Wurzeln bei Zutritt oder Abschluss des Lichts unsere Aufmerksamkeit zuzuwenden, und wir wollen zunächst die Resultate einiger bezüglichen Arbeiten genauer ins Auge fassen.

Famintzin[4]) hat Beobachtungen über das Wurzelwachsthum der keimenden Kresse bei Zutritt und Abschluss des Lichts vorgenommen. Die angequollenen Samen wurden in Töpfe auf die Erdoberfläche ausgesäet und theils vollständiger Dunkelheit, theils dem periodischen Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt. Die

1) Vgl. Sachs, Handbuch d. Experimentalphysiologie. S. 42.

2) Vgl. Kraus, Pringsheim's Jahrbücher. B. 7. S. 231.

3) Die Blätter monocotyler Pflanzen entwickeln sich im Finstern mehr oder minder röhrig, und ihre Oberseite ist dabei nach Innen gewandt. Sachs (botan. Zeitung, 1863, Beilage, S 12) fand, dass die im Finstern erwachsenen Blätter von Allium Cepa nicht hohl werden. Sie sind vielmehr im Innern von farblosem Parenchym erfüllt und bleiben in dieser Hinsicht, indem ihre Ausdehnung in der Peripherie nicht erfolgt, auf dem Knospenzustand stehen.

4) Vgl. Famintzin: Die Wirkung des Lichtes auf das Wachsen der keimenden Kresse. St. Petersburg. 1865.

an den Wurzeln und dem hypocotylen Gliede der Keimlinge vorgenommenen Messungen führten zu dem Ergebnisse, dass das Wachsthum der Wurzel in sehr wesentlichem Grade von dem Lichte beeinflusst wird, und zwar im entgegengesetzten Sinne wie das hypocotyle Glied. Die Pflanzen, welche dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt waren, erzeugten nämlich viel längere Wurzeln als die im Dunkeln erzogenen Untersuchungsobjecte, und Famintzin bemerkt dazu auf Seite 6 seiner Abhandlung: „Das Eigenthümliche dabei besteht noch darin, dass, wenn man die entsprechenden Längen der Wurzel und des hypocotylen Gliedes zusammenaddirt, man fast die gleiche Summe bekommt, so dass im Ganzen genommen die Streckung der axilen Theile in beiden Fällen sich fast gleich bleibt, mit dem Unterschiede jedoch, dass am Lichte vorzugsweise der unterirdische Theil, im Dunkeln aber der oberirdische in die Länge wächst."

Der Angabe Famintzin's gegenüber sind verschiedene Bedenken zu erheben, und namentlich erscheint es fraglich, ob das Untersuchungsmaterial, mit welchem der genannte Forscher experimentirte, gross genug war, um zu den gezogenen Schlussfolgerungen zu berechtigen. Famintzin ist selbst auf verschiedene Mängel, welche seinen ersten Beobachtungen anhafteten, aufmerksam geworden, und er hat die Experimente mit der keimenden Kresse aus diesem Grunde später wiederholt [1]). Am 1. September wurden Kressesamen ausgesäet. Die eine Hälfte der Keimpflanzen wurde dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt, die andere entwickelte sich im Dunkeln. Die Messungen, welche an je 40 Pflanzen der beiden Versuchsreihen vorgenommen wurden, führten zu folgenden Resultaten, welche Mittelwerthe repräsentiren.

Messung am	Länge des hypocotylen Gliedes		Länge der Wurzel		Summa	
	im Licht	im Dunkeln	im Licht	im Dunkeln	im Licht	im Dunkeln
4. September	10	19	38	36	48	55 Mm.
5. „	16	38	60	47	76	85 „
6. „	21	49	81	57	103	106 „
7. „	27	59	100	62	127	121 „
8. „	29	74	123	58	152	132 „
9. „	33	73	145	63	178	136 „

Die Resultate dieser Untersuchungen haben Famintzin zu denselben Schlussfolgerungen geführt, welche er bereits aus den Ergebnissen seiner früheren Beobachtungen gezogen hatte.

Anderweitige Versuche über das Wurzelwachsthum sind von

---

1) Vgl. Famintzin: Botan. Zeitung. 1873. S. 366.

Wolkoff[1]) ausgeführt worden, deren Resultate sich allerdings nicht unmittelbar mit den soeben angeführten vergleichen lassen, da sie unter Benutzung einer wesentlich anderen Methode als diese gewonnen worden sind. Wollkoff liess einige Wurzeln im Wasser hinter einer durchsichtigen Glaswand zur Entwickelung gelangen, und zwar blieben einige Wurzeln dauernder Finsterniss, andere aber dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt. Versuche, die z. B. mit den Keimpflanzen von Pisum sativum und Vicia Faba durchgeführt wurden, deren Wurzeln, wenn sie vom Licht getroffen wurden, schwache heliotropische Krümmungen zeigten, führten zu dem Resultate, dass Dunkelheit das Wachsthum der Wurzeln beschleunigt. So ergaben je 12 Hauptwurzeln von Pisum sativum folgende Zuwachse

	im Finstern	im diffusen Licht
am 1. Tage	195 Mm.	161 Mm.
„ 2. „	239 „	153 „
„ 3. „	250 „	210 „
„ 4. „	126 „	113 „
„ 5. „	113 „	78 „
in 5 Tagen	923 Mm.	715 Mm.

Für die Beurtheilung weiterer von Strehl[2]) durchgeführten Untersuchungen über die Wachsthumsverhältnisse ist es zunächst von besonderer Bedeutung, die Methode, deren sich der genannte Beobachter bediente, einigermassen genau kennen zu lernen. Strehl experimentirte ausschliesslich mit den Keimpflanzen von Lupinus albus. Sämmtliche Samen wurden im Warmhause auf feuchtem Fliesspapier zum Keimen gebracht. Am ersten Tage wurden die Samen zur Quellung vollständig unter Wasser gesetzt, dann wurde das Fliesspapier fernerhin nur feucht erhalten, um der zur Keimung nothwendigen atmosphärischen Luft unbehinderten Zutritt zu verschaffen. Sollten die Samen im Finstern keimen, so wurden die irdenen Gefässe, in denen der Keimungsprocess der Lupinensamen seinen Anfang nahm, mit hölzernen Platten zugedeckt, im anderen Falle wurden Glasplatten darüber gelegt. Für die weitere Entwickelung der 3—4 Tage alten Keimlinge wählte Strehl die Methode der Wassercultur.

Glasgefässe von 11 Cm. Weite 14, resp. 34 Cm. Höhe wurden mit Wasser angefüllt und durch passende mit Oeffnungen zur Auf-

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 1874. S. 808.

2) Vgl. Strehl, Untersuchungen über das Längenwachsthum der Wurzeln und des hypocotylen Gliedes. Inaugural-Dissert. Leipzig, 1874.

nahme der Wurzeln versehene Holzdeckel geschlossen. Zunächst gelangten die Keimlinge in die 14 Cm. hohen Glasgefässe, später wurden sie dann in die grösseren Gefässe eingesetzt. Die Temperaturverhältnisse, unter denen sich die Lupinenpflanzen entwickelten, sind stets genau berücksichtigt worden. Die Pflanzen, welche sich im Dunkeln entwickeln sollten, wurden mit einem undurchsichtigen, diejenigen aber, deren Vegetation bei Lichtzutritt stattfinden sollte, mit einem durchsichtigen Recipienten bedeckt. Bei den Versuchen I—V befanden sich die Wurzeln derjenigen Pflanzen, deren oberirdische Organe sich unter dem Einfluss des Lichts entwickelten, ebenfalls dem Lichte ausgesetzt. Der Versuch VI wurde mit der Abänderung ausgeführt, dass die Glasgefässe, welche bestimmt waren, diejenigen Pflanzen aufzunehmen, deren oberirdische Theile dem Einflusse des Lichts ausgesetzt blieben, mit 5—6 Lagen schwarzen Glanzpapiers bis an den Rand umwickelt wurden.

Mit Bezug auf die Resultate der Untersuchungen Strehl's ist zunächst zu bemerken, dass das hypocotyle Glied der Lupinuskeimpflanzen, die sich im Finstern entwickelt hatten, stets eine bedeutendere Länge erreichte als das entsprechende Organ der bei Lichtzutritt erwachsenen Untersuchungsobjecte. Was das Verhalten der Wurzeln unter dem Einflusse verschiedener Bedingungen anbelangt, so zeigt dasselbe sehr eigenthümliche Erscheinungen, und ich möchte an dieser Stelle aus verschiedenen Gründen bereits genauer auf die Ursachen eingehen, welche dieselben bedingen.

Vor allen Dingen scheint es mir wichtig zu sein, von der Voraussetzung auszugehen, dass sich die Wurzeln der Keimpflanzen bezüglich ihrer Wachsthumsverhältnisse in mehr als einer Hinsicht ganz ähnlich wie anderweitige Pflanzentheile, z. B. Internodien, verhalten. Strehl stellte in der That durch Messungen, deren Resultate hier nicht eingehender mitgetheilt werden sollen, fest, dass das Wachsthum der Wurzel von Lupinus albus durch das Licht als solches retardirend beeinflusst wird. Danach ist a priori zu erwarten, dass die Wurzeln sich unter verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen genau so wie Internodien verhalten werden, d. h. in constanter Finsterniss ein beträchtlicheres Längenwachsthum als bei Lichtzutritt zeigen. Und wirklich ist dies, wenn man nur alle secundären, das Wachsthum beeinflussenden Momente ausschliesst, der Fall. Die Resultate der Untersuchun-

gen Wolkoff's lassen unzweideutig erkennen, dass die im Dunkeln zur Entwickelung gelangenden Wurzeln länger werden als diejenigen, die sich unter Lichteinfluss ausbilden; ebenso haben mehrere Versuche Strehl's (Versuch III—V), bei deren Ausführung ein Theil der Pflanzen in völliger Finsterniss verweilte, andere aber dem Lichteinfluss ausgesetzt wurden, so dass nicht nur die Stamm- und Blatttheile, sondern ebenso die Wurzeln periodisch Licht empfingen, dasselbe ergeben. Die Ursachen, welche die Ueberverlängerung der Wurzeln im Dunkeln herbeiführen, sind unzweifelhaft dieselben, welche eine gleiche Erscheinung an etiolirten Internodien bedingen. Hier kann es sich noch nicht darum handeln, diesen Ursachen weiter nachzugehen, dagegen muss noch auf einige Bedenken hingewiesen werden, die unseren Anschauungen über das Wachsthum der Wurzeln gegenüber erhoben werden können.

Famintzin kam nämlich bei seinen Untersuchungen zu dem Resultat, dass das Licht das Wurzelwachsthum beschleunige, und ebenso haben einige von Strehl durchgeführte Versuchsreihen (I, II und VI) zu demselben Ergebnisse geführt. Trotzdem hege ich die Ueberzeugung, dass die angeführten Beobachtungen die Richtigkeit der Anschauung, wonach das Licht als solches retardirend auf das Wachsthum der Wurzeln einwirkt, nicht zu beeinträchtigen vermögen. Es ist nämlich zu bemerken, dass die Wurzeln der sich unter dem Einfluss des Lichtes entwickelnden Keimpflanzen nur in dem Falle eine grössere Länge als die Wurzeln gleichalteriger etiolirter Keimpflanzen zeigen, wenn die grünen Theile derselben lebhaft assimiliren können. Die Bildung organischer Substanz in den chlorophyllhaltigen Zellen erfährt durch intensivere Beleuchtung derselben eine Steigerung, und eine aufmerksamere Betrachtung der Untersuchungsmethoden, welche Strehl bei der Ausführung mancher seiner Versuchsreihen in Anwendung brachte, lehrt, dass jenes den Assimilationsprocess begünstigende Moment nicht ausgeschlossen war. Namentlich ist in dieser Beziehung beachtenswerth, dass Strehl's erste Versuchsreihen noch im August und September, die ferneren aber erst später, also unter ungünstigeren Beleuchtungsverhältnissen, durchgeführt wurden. Nach dem Gesagten unterliegt es keinem Zweifel mehr, dass zwischen dem Wurzelwachsthum und dem Verlaufe des Assimilationsprocesses ganz enge Beziehungen existiren und zwar treten diese Beziehungen weit deutlicher hervor als diejenigen, welche

zwischen der Assimilation und dem Wachsthum anderer Pflanzenglieder bestehen [1]).

Mit Bezug auf das Resultat der Untersuchungen Famintzin's, wonach die Kressewurzeln im Licht schneller als unter dem Einfluss der Dunkelheit wachsen, könnte man der Ansicht sein, dass das Zustandekommen dieser Erscheinung dem negativen Heliotropismus jener Wurzeln zugeschrieben werden müsse [2]). Eine solche Auffassung ist aber, worauf ich im nächsten Capitel zurückkomme, nicht mehr mit der Theorie des Heliotropismus verträglich, und Müller (Thurgau) [3]) hat direct nachgewiesen, dass die negativ heliotropischen Wurzeln von Chlorophytum und Monstera Lennei im Licht langsamer als im Dunkeln wachsen, während Fr. Darwin [4]) dasselbe für die negativ heliotropischen Wurzeln von Sinapis alba constatirte. Der zuletzt genannte Forscher stellte seine Beobachtungen derartig an, dass sich die Wurzeln entweder im Dunkeln oder unter dem Einfluss des Lichtes befanden, während die übrigen Theile der Pflanzen stets vom Licht getroffen wurden. Er erhielt entscheidende Resultate, während Famintzin's Arbeiten nicht zu solchen führten, da die assimilatorische Thätigkeit der in völliger Dunkelheit oder unter dem Einfluss des Wechsels von Tag und Nacht cultivirten Pflanzen nicht dieselbe sein konnte.

Drittes Capitel.

Allgemeine Wachsthumserscheinungen und Ursachen derselben.

Während die bisherigen Erörterungen dieses Hauptabschnittes wesentlich den Zweck hatten, den Leser mit den Etiolirungs-

---

1) Noch viel complicirter als bei den Keimpflanzen gestalten sich die Verhältnisse des Wurzelwachsthums entwickelterer Pflanzen. Vegetiren Pflanzen in Berührung mit einer Nährstofflösung, so dass die grünen Theile der Gewächse stets dem Lichteinfluss ausgesetzt sind, die Wurzeln sich aber entweder im Dunkeln, oder bei Zutritt des Lichtes ausbilden, so werden die beleuchteten Wurzeln, wie Nobbe (Versuchsstationen, B. 11, S. 71) und ich (Versuchsstationen, B. 15, S. 107) fanden, länger als die nicht beleuchteten. Allerdings konnten wir ferner feststellen, dass die ersteren weniger Nebenwurzeln als die letzteren producirten.

2) Wiesner (vgl. Separatabdruck aus d. Denkschriften d. Akdm. d. Wiss. in Wien etc. B. 39, S. 61) fand, dass die Wurzeln von Lepidium sativum in der That negativ heliotropisch sind.

3) Vgl. Müller (Thurgau), Flora, 1876. S. 95.

4) Vgl. Fr. Darwin, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg. B. 2. S. 521.

erscheinungen der Keimpflanzen selbst bekannt zu machen, muss es nunmehr vor allen Dingen unsere Aufgabe sein, die Ursachen, welche diese merkwürdigen Phänomene herbeiführen, näher kennen zu lernen. Eine sachgemässe Behandlung der auftauchenden Probleme muss selbstverständlich die allgemeinen Principien der Wachsthumsphysiologie zum Ausgangspunkte nehmen, und ich erachte es aus diesem Grunde nicht für überflüssig, diesen Principien im vorliegenden Capitel einige Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Zunächst ist diese Thatsache für uns von besonderem Interesse, dass die Wachsthumsintensität eines jeden Pflanzentheils aus inneren Ursachen nicht zu allen Zeiten dieselbe Grösse besitzt. Sachs[1]) spricht sich darüber wie folgt aus:

„Das wachsende, d. h. in Streckung begriffene Stück einer Wurzel, eines Internodiums oder Blattes verlängert sich in aufeinanderfolgenden gleichen Zeiten nicht um gleiche Zuwachse, dasselbe gilt von ganzen aus vielen Internodien bestehenden Stengeln und sogar von jeder noch so kleinen Querzone eines längswachsenden Organes. Es zeigt sich nämlich, dass das Wachsthum jedes Theils erst langsam beginnt, immer rascher wird, endlich ein Maximum der Geschwindigkeit erreicht, worauf die Verlängerung wieder langsamer wird und endlich erlischt, wenn das betreffende Organ fertig ausgebildet ist.“

Dieses Gesetz, das für die Wachsthumsverhältnisse der einzelnen Theile der verschiedensten Gewächse Gültigkeit besitzt, lässt sich unter Berücksichtigung der Ergebnisse sehr sorgfältig ausgeführter Untersuchungen bereits heute in eingehender Weise begründen[2]). Ich will hier zur Illustration des Gesagten nur auf einige von Sachs vorgenommene Beobachtungen hinweisen.

Sachs fand an einer ursprünglich 1 Mm. langen Querscheibe oberhalb des Vegetationspunktes der in feuchter Luft wachsenden Keimwurzel von Vicia Faba bei einer täglich wiederkehrenden Temperaturschwankung von 18—21.5 ° C. folgende Veränderungen in je 24 Stunden:

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 1874. S. 788.

2) Vgl. Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts zu Würzburg, B. 1, S. 99; Prantl, ebendaselbst, S. 371; Stehler, Untersuchungen über das Blattwachsthum, Inaugural-Dissert., Leipzig, 1876; Strehl, Untersuchungen über das Längenwachsthum d. Wurzel und des hypocotylen Gliedes, Inaugural-Dissert., Leipzig, 1874.

Am	1. Tage	1.8 Mm.	Zuwachs.
„	2. „	3.7 „	„
„	3. „	17.5 „	„
„	4. „	16.5 „	„
„	5. „	17.0 „	„
„	6. „	14.5 „	„
„	7. „	7.0 „	„
„	8. „	0.0 „	„

Wenn aber jede Querzone eines Pflanzentheils im Verlauf ihrer Entwickelung verschiedene Wachsthumsintensitäten zeigt, so müssen die einzelnen Querzonen verschiedenen Alters eines in die Länge wachsenden Organs, die nach und nach aus den Urmeristem des Vegetationspunktes (oder einer intercalaren Vegetationszone) hervortreten, in gleichen Zeiten verschiedene Wachsthumszustände aufweisen. Markirt man die über einander liegenden Querzonen eines Internodiums oder einer Wurzel durch feine Tuschestriche, so zeigt sich in der That, dass die dem Vegetationspunkte nächste Zone eben zu wachsen beginnt, dass die folgende bereits lebhaft wächst, eine weitere das Maximum ihrer Wachsthumsgeschwindigkeit zeigt, während die älteren Zonen schon wieder langsamer wachsen. So fand Sachs z. B. an dem ersten Internodium von Phaseolus multiflorus, welches in 12 Stücke von je 3.5 Mm. Länge abgetheilt worden war, in den ersten 40 Stunden folgenden Zuwachs:

Nr. der Querzone.	Zuwachs in Mm.
I (oben)	2.0
II	2.5
III	4.5
IV	6.5
V	5.5
VI	3.0
VII	1.8
VIII	1.0
IX	1.0
X	0.5
XI	0.5
XII	0.5

Besonders interessant sind noch die Resultate der folgenden Versuchsreihe, die von Sachs unter Benutzung des aus der Zwiebel hervorwachsenden Blüthenschaftes von Fritillaria imperialis

ausgeführt worden ist. Die untersuchten Internodien zeigten in je 24 Stunden die folgenden Verlängerungen:

Tag.	Bei einer normalen Pflanze im Licht.	Bei einer etiolirten Pflanze im Finstern.	Tägliche Mitteltemperatur in ° C.
20. März	2.0 Mm.		10.6
21. „	5.3 „		10.5
22. „	6.1 „		11.4
23. „	6.8 „		12.2
24. „	9.3 „	7.5 Mm.	13.4
25. „	13.4 „	12.5 „	13.9
26. „	12.2 „	12.5 „	14.6
27. „	8.5 „	11.5 „	15.0
28. „	10.6 „	14.2 „	14.3
29. „	10.3 „	12.6 „	12.4
30. „	6.3 „	15.9 „	12.0
31. „	4.7 „	16.6 „	11.2
1. April	5.8 „	18.2 „	10.7
2. „	4.4 „	15.5 „	10.2
3. „	3.8 „	14.0 „	9.4
4. „	2.0 „	13.8 „	10.6
5. „	1.2 „	11.9 „	10.7
6. „	0.7 „	8.8 „	11.0
7. „	0.0 „	4.4 „	11.0
8. „		2.1 „	11.2
9. „		0.6 „	11.5
10. „		0.0 „	12.5

Die Resultate der angeführten sowie noch vieler anderer Versuchsreihen lehren, dass die Wachsthumsintensität der Internodien, Blätter und Wurzeln selbst dann im Verlaufe der Evolution der Pflanzentheile beträchtlichen Schwankungen unterliegt, wenn die äusseren Wachsthumsbedingungen continuirlich dieselben bleiben. Den eigenthümlichen Verlauf des Wachsthums, der dadurch charakterisirt ist, dass die Wachsthumsgeschwindigkeit der Pflanzentheile zunächst eine geringe ist, allmählich lebhafter wird, um schliesslich wieder langsamer zu werden, bezeichnet Sachs treffend als die grosse Periode. Diese grosse Wachsthumsperiode macht sich unter allen Umständen geltend, mögen die Pflanzentheile bei höherer oder niederer Temperatur, unter dem Einfluss des Lichtes, oder in tiefster Finsterniss erwachsen; ihr Hervortreten zeigt sich völlig unabhängig von äusseren Bedingungen,

sondern wird lediglich durch innere Wachsthumsursachen bedingt [1]).

Es ist darauf hingewiesen worden, dass die verschiedenen über einander liegenden Querzonen eines Internodiums etc. durchaus nicht dieselben Wachsthumsintensitäten zeigen, sondern dass die jüngsten und ältesten Stengelabschnitte beträchtlich langsamer als die dazwischen liegenden Partien wachsen. Neuere von Wiesner [2]) durchgeführte Untersuchungen haben nun ergeben, dass nicht immer nur eine Querzone eines Internodium ein Maximum des Längenwachsthums aufweist. Bei der Prüfung der Wachsthumsverhältnisse solcher Keimtheile nämlich, die sich im Zustande undulirender Nutation befinden, lässt sich die Existenz eines Maximums des Längenwachsthums im unteren und diejenige eines zweiten im oberen Theile des Pflanzenorgans nachweisen. Wiesner experimentirte mit den epicotylen Stengelgliedern von Phaseolus multiflorus, Soja hispida etc., und es stellte sich stets heraus, dass die hier berührte eigenthümliche Vertheilung des Längenwachsthums verschwand, um der gewöhnlichen Form mit einem Maximum Platz zu machen, wenn die undulirende Nutation verloren ging und die epicotylen Stengelglieder sich gerade gestreckt hatten.

Von ganz besonderer Bedeutung ist es für unsern Zweck, den Fragen nach den Beziehungen zwischen dem Längenwachsthum und den Beleuchtungsverhältnissen genauer nachzugehen. Die Resultate sehr verschiedener Untersuchungen haben in dieser Beziehung zu dem übereinstimmenden Resultate geführt, dass die Lichtstrahlen auf das Wachsthum der Pflanzentheile (Stengel, Blätter und Wurzeln) als solches retardirend einwirken, während Dunkelheit den Wachsthumsprocess begünstigt. Damit ist aber nicht gesagt, dass die Pflanzenzellen in der Natur stets zur Zeit der Nacht schneller als am Tage wachsen, denn es ist ja bekannt, dass der Wachsthumsvorgang sich in seinem Verlaufe nicht allein von den Beleuchtungsverhältnissen, sondern ebenso von verschiedenen anderweitigen Factoren abhängig erweist. Wenn z. B. auf eine kühle

1) Selbstverständlich wird aber der Verlauf der grossen Wachsthumsperiode nicht deutlich hervortreten, oder gar völlig unkenntlich werden, wenn die äusseren Wachsthumsfactoren, zumal die Temperatur und Feuchtigkeitsverhältnisse, mehr oder minder bedeutenden Schwankungen unterliegen, und in Folge dessen den Gang des Wachsthums modificirend beeinflussen.

2) Vgl. Wiesner, Sitzungsber. d. Wiener Akdm. d. Wiss. B. 77. Januarheft.

Nacht ein recht warmer, trüber Tag folgt, so wird das Wachsthum der Pflanzen am Tage, trotz der herrschenden Beleuchtung, dennoch schneller als in der Dunkelkeit fortschreiten, weil eben am Tage Verhältnisse (hohe Temperatur und eventuell auch beträchtlicher Feuchtigkeitsgehalt der Luft und des Bodens) zur Geltung kommen, welche das Wachsthum sehr erheblich beschleunigen und die retardirende Wirkung des Lichtes auf das Wachsthum allerdings nicht beseitigen, aber doch unkenntlich machen [1]).

Handelt es sich demnach darum, den Einfluss des Lichtes an sich auf das Wachsthum kennen zu lernen, so ist es vor allen Dingen wichtig, die Pflanzentheile längere Zeit hindurch denselben Temperatur- sowie Feuchtigkeitsverhältnissen auszusetzen und nur die Beleuchtungsverhältnisse in dieser oder jener Weise zu modificiren. Die bezüglichen Experimente haben nun ergeben, dass das Wachsthum unter dem Einfluss von Tag und Nacht eine Periodicität aufweist, derartig nämlich, dass die Geschwindigkeit des Wachsthums eines Pflanzentheiles im Allgemeinen am Morgen bei Sonnenaufgang ein Maximum zeigt, im Laufe des Tages immer schwächer wird, vor Sonnenuntergang ein Minimum hervortreten lässt, um während der Nacht wieder allmählich zu steigen. Diese tägliche Wachsthumsperiode, welche ihre Entstehung nicht wie die grosse Wachsthumsperiode inneren Ursachen verdankt, wird durch die Wirkung des Lichtes inducirt; etiolirte Pflanzentheile, welche unter constanten äusseren Bedingungen in absoluter Finsterniss verweilen, lassen dieselbe daher nicht hervortreten [2]).

Im Zusammenhang mit den hier zuletzt berührten Verhältnissen dürfte es von Interesse sein, darauf aufmerksam zu machen, dass auch die Gewebespannung (sowohl die Längs- als auch

---

1) Man vgl. über die hier berührten Verhältnisse die citirten Abhandlungen von Sachs und Strehl. Ferner sind die Arbeiten von Prantl (Arbeiten d. botan. Instituts zu Würzburg, B. 1, S. 371) und von Sydney H. Vines (ebendaselbst, B. 2, S. 114) nachzusehen.

2) Bemerkt sei hier noch, dass manche Pflanzentheile, die zunächst unter normalen Verhältnissen verweilt haben, dann aber constanter Finsterniss oder constanter Beleuchtung ausgesetzt werden, die tägliche Wachsthumsperiode nach Baranetzky (vergl. Botan. Zeitung, 1877, S. 639) noch einige Zeit lang hervortreten lassen. Man hat es in diesem Falle also mit einer Nachwirkung des Lichtes zu thun. Die hier berührten Verhältnisse hat Baranetzky kürzlich (Mémoires de l'acadm. imp. d. sc. de St. Pétersbourg, ser. 7, T. 27, Nr. 2) eingehender behandelt.

die Querspannung) der Pflanzen eine tägliche Periodicität hervortreten lässt, derartig nämlich, dass Gewächse, die sich unter normalen Umständen entwickeln, zur Zeit der Nacht ein Spannungsmaximum, am Tage aber ein Spannungsminimum zeigen [1]). Die folgenden Angaben mögen zur Illustration des Gesagten dienen:

Mittelwerthe für die Längsspannung bei Chenopodium Quinoa.

Tag.	Stunde.	Allgemeine Spannung in % [2]).
14. Juni	7½ a. m.	4.2
	9 „	4.05
	11 „	3.8
	12½ p. m.	3.45
	5 „	3.9

Mittelwerthe für die Längsspannung bei Helianthus tuberosus.

Tag.	Stunde.	Allgemeine Spannung in %.
21. Juni	9 a. m.	5.1
	11 „	5.0
	2 p. m.	4.9
	4 „	5.33
	9 „	5.733

Querspannung bei Pyrus communis.

Tag.	Stunde.	Allgemeine Spannung in %.
6. October	7 a. m.	4.9
	10 „	4.9
	2 p. m.	3.7
	5 „	3.9
	7 „	5.7

Von besonderem Interesse ist noch dies, dass die tägliche Periode der Gewebespannung, wie Kraus hervorhebt, bald verschwindet, wenn die Pflanzen ins Dunkle gebracht werden, dass sie hingegen bestehen bleibt, wenn die Untersuchungsobjecte unter Wasser dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt sind.

Wir kehren nach dieser Abschweifung von unserem eigentlichen Thema, ohne den Spannungsverhältnissen zunächst weitere Aufmerksamkeit zu schenken, zu den Betrachtungen über den Einfluss des Lichtes auf den Wachsthumsprocess selbst zurück, und zwar ist es für unsere weiteren Erörterungen von Wichtigkeit, den

1) Vgl. Kraus: Botan. Zeitung, 1867, S. 120 und Beilage, S. 26, 28 u. 37.

2) Die folgenden Zahlen sind erhalten worden, indem der Grössenunterschied zwischen den isolirten peripherischen Pflanzengeweben und dem Mark procentisch auf die ursprüngliche Gesammtdimension der Untersuchungsobjecte berechnet wurde.

heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreich noch einige Worte zu widmen [1]).

Sehen wir von denjenigen Pflanzentheilen (z. B. manchen Blumenkronen) ab, deren Flächenwachsthum in keiner Weise vom Lichte modificirt wird, so lassen sich die Glieder der Gewächse mit Rücksicht auf ihr Verhalten den Lichtstrahlen gegenüber in zwei grosse Gruppen bringen. Es existiren nämlich sehr viele Pflanzentheile (Internodien, Blätter, Wurzeln, einzellige Schläuche von Vaucheria, die aus einer Zellenreihe bestehenden Internodien von Nitella [2]), Pilze, wie Sordaria decipiens Wint. [3]) etc.), welche sich bei einseitiger Beleuchtung nach der Lichtquelle hin concav krümmen. Andere Pflanzentheile (hypocotyles Glied von Viscum album, ältere Internodien von Hedera Helix und Tropaeolum majus, basale Rankentheile von Vitis vinifera und Ampelopsis quinquefolia, Luftwurzeln der Aroideen, Wurzeln von Chlorophytum Gayanum, Wurzelhaare der Marchantia etc.) wenden sich bei einseitiger Beleuchtung vom Licht ab, so dass die beleuchtete Seite convex wird. Die Pflanzentheile der ersten Kategorie werden als positiv heliotropische, diejenigen der letzteren aber als negativ heliotropische bezeichnet. Das Gemeinsame im Verhalten positiv und negativ heliotropischer Pflanzentheile besteht demnach darin, dass bei einseitiger Beleuchtung derselben stets eine Seite convex, die entgegengesetzte aber concav wird. Die convexe Seite zeigt im Vergleich zu der concaven stets das intensivste Flächenwachsthum der Zellen, und überdies ist noch zu bemerken, dass nach den Untersuchungen von H. Müller (Thurgau) [4]) die concave Seite heliotropisch gekrümmter Pflanzentheile immer ein langsameres Wachsthum als bei gleich intensiver allseitiger Beleuchtung der Pflanzentheile erkennen lässt.

Aber es ist nun von Wichtigkeit, dass bei positiv heliotropischen Pflanzentheilen die Schattenseite der Organe schneller als die beleuchtete wächst, während bei negativ heliotropischen Gebilden das Entgegengesetzte der Fall ist. Wenn man ferner die bereits berührten Verhältnisse über die tägliche Wachsthumsperiode positiv heliotropischer Pflanzentheile in Betracht zieht und

1) Ausführliche Zusammenstellungen über die den Heliotropismus betreffende Literatur findet man bei Wiesner (vgl. Denkschriften der Akadem. d. Wiss. zu Wien, B. 39).

2) Vgl. Hofmeister, Lehre von d. Pflanzenzelle. 1867. S. 288.

3) Vgl. G. Winter, Abhandlungen d. naturf. Gesell. zu Halle. B. 13. H. 1. S. 93.

4) Vgl. H. Müller, Flora. 1876. S. 64.

endlich bedenkt, dass die neuesten Untersuchungen Wiesner's über das Längenwachsthum des negativ heliotropischen hypocotylen Gliedes von Viscum album ergeben haben, dass die Zuwachse im Licht grösser sind als im Finstern — beziehungsweise im schwächeren Lichte — so könnte man zu der Annahme gelangen, dass das Flächenwachsthum sehr vieler Pflanzenzellen (positiv heliotropischer) durch den Einfluss des Lichtes eine Verzögerung erfährt, während die Lichtstrahlen auf der anderen Seite das Wachsthum mancher Pflanzenzellen (negativ heliotropischer) beschleunigen.

Leider steht aber eine so einfache Erklärung der heliotropischen Phänomene nicht mit allen Thatsachen in Einklang. Müller (Thurgau) und Fr. Darwin[1]) haben sicher feststellen können, dass negativ heliotropische Pflanzentheile (Wurzeln von Chlorophytum, Monstera Lennei und Sinapis alba) im Dunkeln schneller als unter dem Einfluss des Lichts wachsen, und man darf wohl bereits heute davon ausgehen, dass Lichtmangel die Wachsthumsintensität positiv und negativ heliotropischer Pflanzentheile begünstigt. Nichts desto weniger ist es ja gewiss, dass die convexen Seiten positiv oder negativ heliotropisch gekrümmter Pflanzentheile ein lebhafteres Wachsthum als die concaven Seiten erfahren haben müssen, eine Thatsache, welche bei der mechanischen Erklärung der heliotropischen Bewegungen die grösste Aufmerksamkeit verdient. Allein die neueren Untersuchungen lassen immer mehr erkennen, dass die auf den verschiedenen Seiten heliotropischer Pflanzentheile zu Stande kommende ungleiche Wachsthumsintensität nicht, wie man bisher annahm, Folge der auf jenen verschiedenen Seiten herrschenden Beleuchtungsdifferenzen, sondern Folge der Richtung, in der das Licht wirkt, ist. Danach hätte man sich vorzustellen, dass durch das Licht in einseitig beleuchteten negativ heliotropischen Pflanzentheilen eine Stoffbewegung eingeleitet wird, welche ein lebhafteres Wachsthum der Zellen der beleuchteten Seite bedingte, während in positiv heliotropischen Pflanzentheilen das Entgegengesetzte eintreten müsste. Man könnte sich mit Sachs vorstellen, dass das Licht im ersten Fall eine Anziehung, im letzten eine Abstossung auf gewisse Stoffe ausübte, und diese Wirkungen könnten selbst zur Geltung kommen, wenn die heliotropischen Pflanzentheile kein Licht absorbirten, also die Beleuchtung derselben auf beiden Seiten gleich intensiv wäre [2]).

---

1) Vgl. Fr. Darwin, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg. B. 2. S. 521.

2) Ich habe mich im Vorstehenden auf die Auseinandersetzungen von Sachs gestützt. Vgl. Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2, S. 282 und 486.

Ich enthalte mich hier weiterer Angaben über die Wachsthumserscheinungen selbst. Es handelt sich vielmehr jetzt darum, die schwierigen Probleme nach den denselben zu Grunde liegenden Ursachen näher ins Auge zu fassen.

Als Pflanzenwachsthum bezeichnen wir denjenigen Process, der unter Mitwirkung organisatorischer Vorgänge zu einer bleibenden und nicht wieder rückgängig zu machenden Volumen- oder Gestaltveränderung der Pflanzentheile oder beider führt.

Bei dem Zustandekommen der uns hier speciell interessirenden Wachsthumserscheinungen spielt der Turgor eine ganz hervorragende Rolle, denn nur solche Zellen können wachsen, welche turgesciren. Das Wesen des Turgors ist in einer Wechselwirkung zwischen dem Zellinhalt und der Zellmembran zu suchen. Es ist zu bemerken, dass das Plasma der Zellen sich mit Wasser imbibirt, vor allen Dingen ist aber zu betonen, dass gewisse Bestandtheile des Zellsaftes, der sich in den älter werdenden Zellen bekanntlich ins Besondere als Vacuolenflüssigkeit vorfindet, in Folge ihrer osmotischen Wirkungen beträchtliche Wasserquantitäten von aussen anziehen. Der Plasmakörper der Zellen wird mehr und mehr ausgedehnt, seine Hautschicht legt sich der Cellulosemembran fest an, und indem die Wasseraufnahme auch fernerhin mehr und mehr fortschreitet, wird ebenfalls die Zellhaut gedehnt. Diese setzt aber in Folge ihrer Elasticität dem von Innen her auf sie einwirkenden Druck einen Widerstand entgegen, und wenn sich die endosmotische Saugung des Zellinhaltes und die Elasticität der gedehnten Schichten der Zellen das Gleichgewicht halten, so befinden sich die einzelnen Zellbestandtheile im Zustande gegenseitiger Spannung, und die Zelle wird als eine völlig turgescirende bezeichnet. Die Ausdehnung, welche eine Pflanzenzelle thatsächlich durch den Turgor erleidet oder die Turgorausdehnung ist also abhängig von dem im Innern der Zelle zur Geltung kommenden Druck oder der Turgorkraft, und dem Widerstande, welchen die gedehnten Schichten diesem Druck entgegensetzen. Wenn in zwei Zellen (a und b) eine Turgorkraft von gleicher Intensität herrscht, so ist damit noch nicht gesagt, dass die beiden Zellen dieselbe Turgorausdehnung erfahren. Denn wenn z. B. die Zellmembran der Zelle a widerstandsfähiger als diejenige der Zelle b ist, so wird dem Gleichgewichtszustande zwischen der Turgorkraft und der Elasticität der Mem-

branen im ersteren Falle eine geringere Turgorausdehnung als im letzteren entsprechen.

Die Elasticitätsspannung der durch den Turgor gedehnten Schichten der Zellen kann aber aufgehoben werden. Dies geschieht z. B. dadurch, dass zwischen die Tagmen der gespannten Schichten neue Substanztheilchen eingelagert werden, dass die bereits vorhanden gewesenen Tagmen sich vergrössern, und dass die Zellschichten neue Wasserquantitäten durch Imbibitionsprocesse aufnehmen. Die beiden ersteren Vorgänge (Intussusceptions- und folgenden Appositionserscheinungen) sind, wie leicht verständlich, als Wachsthumsverhältnisse anzusehen; die gesammten erwähnten Processe führen aber zu einer Ausgleichung der Elasticitätsspannung und zu einer Verminderung des Turgors. Der Zellinhalt zieht nunmehr neue Wassermengen von aussen an, die Spannung wächst in Folge dessen aufs Neue und damit ist abermals die Bedingung für das Zustandekommen des Wachsthums und für die Ausgleichung der Elasticitätsspannung gegeben.

Wenn man die Wachsthumsverhältnisse solcher Pflanzentheile (Stengel, Blätter etc.), die bereits eine beträchtliche Länge erreicht haben, näher ins Auge fasst, so zeigt sich, dass an den wachsenden Partieen derselben drei verschiedene Regionen zu unterscheiden sind. Die erste Region ist dadurch ausgezeichnet, dass die Zellen derselben in lebhafter Theilung begriffen sind, ohne eine erhebliche Volumenzunahme zu erfahren. In der zweiten Region tritt die Zelltheilung sehr in den Hintergrund, dagegen erfahren die Zellen eine bedeutende Volumenvergrösserung, und die Streckung des Pflanzentheils geschieht hauptsächlich in Folge des energischen Flächenwachsthums der Zellen dieser Zone. In der dritten Region wachsen die Zellen nicht mehr, wenigstens nicht mehr in die Länge. Es ist von Wichtigkeit, darauf hinzuweisen, dass die einzelnen Regionen wachsender Pflanzentheile keineswegs scharf von einander abgegrenzt sind; vielmehr gehen die Zellen mit zunehmendem Alter allmählich aus einem Zustande in den anderen über[1]).

Im genauesten Zusammenhange mit den hier bezeichneten Ver-

1) Im Anschluss an das hier Gesagte ist auf die sehr beachtenswerthen Bemerkungen von Sachs (vgl. Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2, S. 196) über das Causalverhältniss von Wachsthum und Zelltheilung hinzuweisen. Namentlich wird hier betont, dass die Zellbildung bei der Beurtheilung der Wachsthumserscheinungen nicht in den Vordergrund gestellt werden darf, sondern als ein secundäres Moment betrachtet werden muss.

hältnissen stehen nun die bereits weiter oben erwähnten Erscheinungen der grossen Wachsthumsperiode, und wenn nach unseren bisherigen Auseinandersetzungen das Flächenwachsthum der Zellen überhaupt in so genauen Beziehungen zum Turgor steht, so darf auch a priori angenommen werden, dass sich Relationen zwischen dem speciellen Phänomen der grossen Wachsthumsperiode und den dabei zur Geltung kommenden Turgorerscheinungen constatiren lassen.

Derartige Erwägungen sind es auch gewesen, welche H. de Vries veranlassten, den Beziehungen zwischen dem Wachsthum und dem Turgor auf experimentellem Wege weiter nachzugehen [1]. Der genannte Forscher begründete vor allen Dingen eine Methode, welche es ermöglicht, den einschlägigen Fragen auf empirische Weise näher zu treten, und er widmet dann ins Besondere der Frage nach den Beziehungen zwischen der absoluten Grösse der Turgorausdehnung und dem Alter der Zellen seine Aufmerksamkeit.

H. de Vries bestimmt die Grösse der Turgorausdehnung als die Längsdifferenz zwischen dem völlig turgescenten und dem plasmolytischen Zustande eines Pflanzentheiles. Der plasmolytische Zustand eines Organs ist aber derjenige, in welchem dasselbe durch mehrstündigen Aufenthalt in einer Salzlösung seines Turgors völlig beraubt ist, indem sich das Plasma in allen Zellen von der Zellwand zurückgezogen hat. Ich übergehe das Detail der Untersuchungsmethode und bemerke nur, dass die Pflanzentheile, nachdem sie durch in gleichen Entfernungen von einander aufgetragene Tuschemarken in Partialzonen eingetheilt worden waren, auf ihre Wachsthumsverhältnisse geprüft wurden, um sie dann durch Einbringen in die Salzlösungen in den plasmolytischen Zustand zu versetzen.

Ein Versuch, der mit einem jungen, kräftigen Blüthenstiel von Butomus umbellatus, welcher in Partialzonen von je 20 Mm. Länge eingetheilt worden war, ausgeführt wurde, lieferte z. B. die folgenden Resultate:

---

1) Vgl. H. de Vries, Untersuchungen über die mechanischen Ursachen der Zellstreckung, Habilitationsschrift. Halle, 1877. S. 90.

Zone.	Partialzuwachs in 12 Stunden.	Verkürzung in der Lösung in $4^1/_2$ Stunden, auf 20 Mm. Anfangslänge berechnet.
I oben	3.1	1.8
II	4.0	1.9
III	4.9	1.8
IV	5.6	2.1
V	5.3	1.8
VI	4.2	1.7
VII	3.0	1.8
VIII	1.7	—

Eine eingehendere Betrachtung der vielen von de Vries gegewonnenen Zahlenreihen würde hier viel zu weit führen; ich weise nur auf das allgemeine Resultat der Untersuchungen des genannten Forschers hin, wonach nämlich in hinreichend jungen Objecten die Turgorausdehnung von der Spitze aus erst zunimmt, dann in einer gewissen Partialzone ein Maximum erreicht, um dann allmählich wieder abzunehmen. Dieses Ergebniss gewinnt eine ganz ausserordentliche Bedeutung, wenn man bedenkt, dass die einzelnen Partialzonen wachsender Pflanzentheile ebenfalls verschiedene Wachsthumsgeschwindigkeiten aufweisen, und in der That existirt, wie z. B. die vorstehenden Zahlenreihen deutlich erkennen lassen, ein Parallelismus zwischen dem Wachsthum und der Turgorausdehnung.

Handelt es sich nun darum, die Ursachen der eigenthümlichen Vertheilung der Wachsthumsgeschwindigkeit an Pflanzentheilen oder die der grossen Wachsthumsperiode zu Grunde liegenden Ursachen zu ermitteln, so wird es selbstverständlich zunächst von Interesse sein, diejenigen Momente kennen zu lernen, welche die verschiedene Grösse der Turgorausdehnung in den einzelnen Partialzonen bedingen. Die Grösse der Turgorausdehnung selbst ist offenbar von verschiedenen Momenten abhängig, und als solche sind hier die folgenden zu nennen:

1. Die Grösse der Turgorkraft (gemessen an der Grösse des Drucks, den der Zellinhalt auf die gespannten Zellschichten ausübt);
2. Die Grösse der Dehnbarkeit der gespannten Schichten (Cellulosemembran und Hyaloplasma der Zellen).

Die Grösse der Turgorkraft kann durch verschiedene Umstände modificirt werden. Wasserabgabe der Pflanzen in Folge der Transpiration muss dieselbe z. B. deprimiren, und vor allen Dingen wird sich die Grösse der Turgorkraft von der osmotischen Saugkraft des Zellinhalts abhängig erweisen. Dies

letztere Moment besitzt für unsere Betrachtungen über die Grundursachen des Wachsthums in mehrfacher Hinsicht ein besonderes Interesse, und es ist für uns zweckmässig, die Turgorausdehnung abhängig zu betrachten:

1. Von der osmotischen Saugkraft des Zellinhalts;
2. Von der Dehnbarkeit der gespannten Zellschichten.

Das erste Moment kann bei der Bestimmung der Ursachen, welche der grossen Wachsthumsperiode zu Grunde liegen, füglich ausser Acht gelassen werden, denn darüber, ob die osmotische Saugkraft der Zellen verschiedenen Alters ein und desselben Pflanzentheils verschieden ist, wissen wir durchaus nichts. Dagegen lässt sich feststellen, dass die Dehnbarkeit der Zellen wachsender Pflanzentheile eine verschiedene ist, und nach H. de Vries (vergleiche die citirte Abhandlung desselben) nimmt die Dehnbarkeit der Zellen im Grossen und Ganzen mit zunehmendem Alter derselben zunächst zu, um dann, wenn die Zellen noch älter werden, wieder abzunehmen.

Setzen wir die osmotische Saugkraft und die Elasticitätsspannung für die einzelnen Zellen wachsender Pflanzentheile als gleich gross voraus, wie dies gewiss unter Berücksichtigung des Gesagten vorläufig zulässig ist, so liegt offenbar auf der Hand, dass diejenigen Zellen, welche eine geringere Dehnbarkeit besitzen, auch eine geringere Turgorausdehnung durch den von Innen her auf das Hyaloplasma und die Zellhaut wirkenden hydrostatischen Druck erfahren werden, während umgekehrt eine bedeutendere Dehnbarkeit der gespannten Zellregionen eine grössere Turgorausdehnung zur Folge haben muss [1]).

Erinnern wir uns nun daran, dass der Wachsthumsprocess der Zellen auf einer durch den Turgor ermöglichten Einlagerung neuer Tagmen zwischen die bereits vorhandenen Tagmen der gespannten Schichten beruht, so ist sofort klar, dass dieser Vorgang um so leichter von statten gehen kann, je dehnbarer diese

---

1) Es lässt sich von vornherein erwarten, dass diejenigen Partialzonen wachsender Pflanzentheile, in denen das Maximum des Wachsthums herrscht, und welche die beträchtlichste Turgorausdehnung zeigen, auch am wasserreichsten sein werden. In der That haben die Resultate neuerer Untersuchungen von G. Kraus (vergl. Separatabdruck aus der Festschrift der naturforschenden Gesellschaft zu Halle, 1879, S. 6) die Richtigkeit dieser Voraussetzung bestätigt. Hervorzuheben ist noch, dass ein grösserer Wassergehalt der Zellen nicht nothwendig Folge einer grösseren osmotischen Saugkraft derselben zu sein braucht, denn bei gleicher osmotischer Saugkraft zweier Zellen wird schon diejenige wasserreicher als die andere sein müssen, deren gespannte Schichten die grösste Dehnbarkeit besitzen.

wachsthumsfähigen Schichten sind, und es muss somit für das Verständniss des Phänomens der grossen Wachsthumsperiode in aller erster Linie die verschiedene Dehnbarkeit der Partialzonen eines Pflanzentheils von Bedeutung erscheinen. Diejenigen Zellen eines Pflanzentheils, welche am lebhaftesten wachsen, besitzen die beträchtlichste Dehnbarkeit. Die jüngeren Zellen sind aus Gründen, die allerdings noch nicht genau festgestellt werden können, weniger dehnbar als die zunächst erwähnten, und ebenso besitzen diejenigen Zellen, welche sich im Zustande abnehmender Wachsthumsgeschwindigkeit befinden, weil ihre Membranen bereits ein nicht unerhebliches Dickenwachsthum erfahren, und weil dieselben häufig in Folge der Gewebespannung comprimirt werden, eine geringere Dehnbarkeit als die jüngeren Zellen. Die vorstehenden Angaben über das Zustandekommen der grossen Wachsthumsperiode mögen hier genügen; nur dies sei noch bemerkt, dass die Volumenzunahme der den Vegetationspunkt wachsender Pflanzentheile bildenden und nahe liegenden Zellen auch deshalb schon geringer sein kann als das Flächenwachsthum der etwas älteren Zellen, weil die ersteren sich im Zustande lebhafter Theilung befinden. Man darf wohl mit Sicherheit annehmen, dass die Bewegungsfähigkeit der Tagmen des sehr jugendlichen Protoplasma eine grössere als diejenige des Plasma älterer Zellen ist. Eine bedeutendere Beweglichkeit der Plasmamasse ist aber für das Zustandekommen der Zelltheilung absolut nothwendig, denn sie ermöglicht erst die Umlagerung der Tagmen und die Gruppirung derselben um neue bei der Zelltheilung auftretende Mittelpunkte. Es ist nun an sich klar, dass bei der Bildung neuer Zellen, zumal auch bei der Entstehung der Cellulosemembranen zwischen den neuen Zellen, erhebliche Stoffmengen verbraucht werden. Dieses Material wird dem Process des Flächenwachsthums der Zellen also entzogen, und aus diesem Grunde kann der Zelltheilungsprocess die Energie des Vorganges der Volumenzunahme der Zellen verringern.

Wir können nunmehr dazu übergehen, die Ursachen aufzusuchen, welche die tägliche Wachsthumsperiode der Pflanzentheile bedingen, und da das Wachsthum der Pflanzentheile durch das Licht verlangsamt wird, so handelt es sich speciell darum, die Ursachen der wachsthumsretardirenden Lichtwirkungen aufzusuchen [1]). Na-

1) Die Frage, ob das Licht auf die Zelltheilung von Einfluss ist, lasse ich hier ausser Acht, da ich die bezüglichen Verhältnisse in einem anderen Zusammenhange noch berühren werde.

türlich kommt es hier stets nur darauf an, den directen Beziehungen zwischen den Beleuchtungs- und Wachsthumsverhältnissen nachzugehen, während anderweitige Momente, namentlich z. B. der Einfluss, den das Licht indirect auf das Wachsthum geltend machen kann, indem die leuchtenden Strahlen die Bildung des für die Entwickelung der Zellen erforderlichen plastischen Materials erst ermöglichen, unberücksichtigt bleiben müssen.

Zur Beantwortung der aufgeworfenen Frage ist es nöthig, den Einfluss des Lichtes auf die bereits früher erwähnten beiden wichtigen Wachsthumsmomente, die osmotische Saugkraft des Zellinhaltes und die Dehnbarkeit der gespannten Schichten (Hyaloplasma sowie Cellulosemembran) näher zu untersuchen.

Dem Einfluss des Lichts auf die osmotische Saugkraft des Zellinhalts darf vor der Hand in dem hier in Rede stehenden Zusammenhange wohl nicht in erster Linie eine Bedeutung beigemessen werden, denn obgleich es wahrscheinlich ist (namentlich unter Berücksichtigung gewisser Verhältnisse, die im vierten Capitel dieses Hauptabschnitts besprochen werden sollen), dass das Licht die osmotische Saugkraft des Zellinhaltes deprimiren kann, so sind wir über die Frage nach dem Einfluss des Lichts auf den Inhalt solcher Zellen, die dem Wechsel von Tag und Nacht ausgesetzt sind, noch so wenig orientirt, dass wir derselben einstweilen nicht näher treten können.

Sonach bleibt für uns zunächst die Dehnbarkeit der gespannten Schichten als dasjenige Moment übrig, welches vom Licht beeinflusst werden kann, und es erscheint gerechtfertigt, auf diesen Punkt bei der Erklärung der täglichen Wachsthumsperiode das grösste Gewicht zu legen.

Die Schichten, welche in den Zellen passive Spannungen erfahren, sind verschiedener Natur. Denn einmal wird ja das Hyaloplasma, ferner wird aber auch die Cellulosemembran gedehnt, und somit kann sich der angedeutete Lichteinfluss sowohl auf diese als auch auf jene gespannte Schicht beziehen. Dass die Zellmembranen in der That eine Veränderung ihrer Dehnbarkeit durch das Licht erfahren können, ist unzweifelhaft. Bedenkt man, dass nach den Untersuchungen von G. Kraus[1]) und Rauwenhoff[2]) sowie nach den bereits im zweiten Capitel dieses Hauptabschnitts erwähnten Beobachtungen von L. Koch, das Dickenwachsthum der Zellmembranen etiolirter Pflanzen sehr beträcht-

1) Vgl. G. Kraus, Pringsheim's Jahrbücher. B. 7. S. 232.

2) Vgl. Rauwenhoff, Annl. d. sc. nat. Bot. Ser. 6. T. 5.

lich hinter demjenigen der Membranen normal ausgebildeter Gewächse zurücktritt, so ergiebt sich daraus, dass das Licht, indem dasselbe die Verdickung der Zellmembranen begünstigt, deren Dehnbarkeit vermindern kann. Ebenso kann aber auch die Dehnbarkeit des Hyaloplasma unter dem Einflusse des Lichts modificirt werden, indem die leuchtenden Strahlen das Dickenwachsthum desselben beeinflussen, oder die Anordnung der Tagmen des Plasma verändern. Wenn Sydney H. Vines[1]) fand, dass sehr kurz dauernde ($^1/_2$—1stündige) Lichtwirkung die Wachsthumsgeschwindigkeit der Sporangienträger von Phycomyces nitens bereits verlangsamt, so ist daraus der Schluss zu ziehen, wie der genannte Beobachter dies ebenfalls für geboten erachtet, dass in diesem Falle nicht die Dehnbarkeit der Zellhaut, sondern diejenige des Hyaloplasma durch den Einfluss der kurz dauernden Beleuchtung vermindert wurde, denn die Dehnbarkeit der Zellhaut wird wohl erst durch längere Zeit andauernden Lichteinfluss modificirt werden können.

Auf welche Weise die Lichtstrahlen die Verdickung der Cellulosemembran sowie des Hyaloplasma steigern oder die Umlagerung der Tagmen des Hyaloplasma herbeiführen, wissen wir zur Zeit noch durchaus nicht, aber darüber kann kein Zweifel existiren, dass die genannten Vorgänge einen bedeutsamen Einfluss auf die Dehnbarkeit der gespannten Zellschichten und somit auf das Flächenwachsthum der Zellhäute ausüben müssen.

Wenn man die hier gegebene Darstellung über die Ursache der Beeinflussung des Wachsthumsprocesses durch das Licht als eine richtige anerkennt, so lassen sich die Erscheinungen der täglichen Wachsthumsperiode bis zu einem gewissen Grade erklären. Die Pflanzentheile wachsen am Tage langsamer als in der Nacht, weil das Licht die Dehnbarkeit der gespannten Zellschichten (Cellulosemembran und Hyaloplasma) vermindert und weil dasselbe vielleicht auch die osmotische Saugkraft des Zellinhaltes deprimirt[2]).

---

1) Vgl. Sydney H. Vines, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg. B. 2. H. 1. S. 133.

2) Die im Laufe von 24 Stunden zur Geltung kommenden Schwankungen in der Ausgiebigkeit des Wachsthums können allerdings nicht nur durch das Licht, sondern ebenso durch anderweitige Momente, z. B. durch Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse inducirt werden, aber diese Momente bleiben hier natürlich unberücksichtigt.

Viertes Capitel.

Die Ursachen der Etiolirungserscheinungen.

Man hat sich bereits vielfältig bemüht, die Ursachen der Etiolirungserscheinungen klar zu legen, und wenn man die bezügliche Literatur eingehender studirt, so zeigt sich, dass sich in der Wissenschaft vielfach ein wahres Ringen geltend gemacht hat, um das geheimnissvolle Wirken der Natur, welches die wunderbaren Erscheinungen des Etiolements herbeiführt, zu entschleiern. Die Physiologen, die an den hier berührten Bestrebungen theilnahmen, haben allerdings fast sämmtlich mehr oder minder werthvolle Beiträge zur Lösung der schwierigen Probleme geliefert, aber häufig genug hat sich dabei eine gewisse Einseitigkeit in der Behandlung der einschlägigen Fragen geltend gemacht, und deshalb ist es gerade hier von ganz besonderer Bedeutung, die verschiedenen Arbeiten, welche über die Ursachen der Etiolirungserscheinungen vorliegen, selbst genauer kennen zu lernen.

Sehen wir von der älteren, bereits im zweiten Capitel dieses Hauptabschnitts erwähnten Literatur über unsern Gegenstand ab, so ist zunächst auf die wichtigen Untersuchungen der Formveränderung etiolirter Pflanzen, die von G. Kraus ausgeführt worden sind, hinzuweisen [1]).

Kraus weist zunächst auf die ebenfalls schon von uns hervorgehobene Thatsache hin, dass die Ueberverlängerung und die Verkümmerung etiolirter Pflanzentheile nicht an bestimmte Organe gebunden sei; die ganze Erscheinung macht nach Kraus den Eindruck, als ob den Pflanzen mit dem Verluste des Lichts der Regulator ihrer Gestalt abhanden käme, und dieselben nicht nach einem gemeinschaftlichen Gesetz, sondern jede nach ihrer eigenen unberechenbaren Laune die Grösse ihrer Organe herstellte [2]).

Da die Erscheinungen des Etiolements vor allen Dingen an normalerweise chlorophyllhaltigen Pflanzentheilen beobachtet worden sind [3]), so lag es zunächst nahe, die ganze Erscheinung als eine Wachsthumsstörung in Folge mangelnder Stärkebildung im Chlorophyll und Mangel an Material für die Zellhautbildung auf-

1) Vgl. Kraus, Pringsheim's Jahrbücher. B. 7. S. 209.

2) Natürlich entwickeln sich die Glieder einer bestimmten Pflanzenspecies im Finstern stets in ein und derselben Weise, so dass z. B. eine Pflanzenart stets verkümmerte, eine andere stets abnorm lange Blätter producirt.

3) Uebrigens haben wir schon früher darauf hingewiesen, dass ebenfalls manche chlorophyllfreie Pflanzentheile Etiolirungserscheinungen zeigen können.

zufassen. Dieser Anschauung widerspricht aber der Umstand, dass viele Internodien sowie manche Blätter im Finstern sogar ein weit lebhafteres Wachsthum als unter dem Einfluss des Lichtes erkennen lassen und dass ferner die Cotyledonen der Keimpflanzen, trotzdem sie reichliche Stärke- oder Oelquantitäten führen, dennoch im Finstern sehr klein bleiben. Es müssen demnach anderweitige Momente zur Erklärung der eigenthümlichen Etiolirungserscheinungen herangezogen werden, und wir wollen in erster Linie untersuchen, in welcher Weise Kraus sich das Zustandekommen der Ueberverlängerung etiolirter Internodien vorstellt.

Die etiolirten Internodien bleiben, dies ist eine wichtige und sehr allgemein hervortretende Erscheinung, den normalen gegenüber auf einer geringen Stufe der Entwickelung stehen. Dies zeigt sich einerseits darin, dass die Stengeltheile, welche sich in constanter Finsterniss ausbilden, meistens dünn bleiben, weil die Rinden-, Mark- und Holzelemente in radialer Richtung in verhältnissmässig geringer Anzahl vorhanden sind. Ferner ist aber vor allen Dingen zu bemerken, dass die Zellhäute der parenchymatischen und prosenchymatischen Gewebe etiolirter Internodien eine sehr geringe Ausbildung erfahren, denn während die Epidermis-, Rinden-, Bast- und Holzelemente unter normalen Verhältnissen eine beträchtliche Verdickung ihrer Wände erfahren, so ist dies nicht der Fall, wenn die Internodien bei Lichtabschluss zur Entwickelung gelangen.

Nach der Constatirung dieser interessanten Thatsachen geht Kraus weiter dazu über, die Dimensionsverhältnisse der Zellen etiolirter und normaler Internodien genauer zu bestimmen. Er hat die Länge der Zellen der verschiedensten Pflanzengewebe ermittelt, und da die Beobachtungen stets wieder zu denselben Resultaten führten, so begnügen wir uns damit, nur wenige Ergebnisse in der folgenden Tabelle zusammenzustellen[1]):

Name der Pflanze.	Grösse des Internodiums.		Grösse einer Epidermiszelle.		Anzahl der Epidermiszellen.	
	Normal.	Etiolirt.	Normal.	Etiolirt.	Normal.	Etiolirt.
Lychnis Githago	15.6	104.3	0.2300	1.3756	69	77
Cucurbita Pepo	50	344	0.0825	0.2076	606	1652
Convolvolus tricolor	39	66	0.2345	0.4366	106	151
Phaseolus vulgaris	99	199	0.0736	0 1931	1345	1030
Lupinus Termis	22.6	108.5	0.1014	0.3864	222	286

1) Die Zahlen der folgenden Tabelle repräsentiren Mittelwerthe und drücken Mm. aus. Sie beziehen sich sämmtlich auf das hypocotyle Glied der in der ersten Columne aufgeführten Pflanzenspecies.

Die vorstehend mitgetheilten Resultate berechtigen zu den folgenden Schlussfolgerungen:

1. Die Zellen etiolirter Internodien sind mindestens um das Doppelte, oft um das 3—5 fache länger als diejenigen normaler.

2. Aus dieser Uebergrösse etiolirter Zellen erklärt sich der grösste Theil der Ueberlänge der Internodien, aber nicht die ganze.

3. Der Rest der Ueberlänge wird durch eine Zellübervermehrung, die sich unzweifelhaft in den Zahlen ausspricht, gedeckt.

Es musste sich für Kraus nun naturgemäss vor allen Dingen darum handeln, die Ursachen der Ueberverlängerung etiolirter Zellen, sowie die Ursachen, welche der Zellübervermehrung in etiolirten Internodien zu Grunde liegen, genauer zu bestimmen.

Die Zellüberverlängerung hat nach Kraus ihre Ursache darin, dass in etiolirten Internodien die Bedingungen für das Zustandekommen der Streckung der peripherischen Gewebemassen und des Markes in geeigneter Weise zusammentreffen. Mit Rücksicht auf die peripherischen Gewebemassen ist bereits darauf hingewiesen, dass die Zellen derselben auf einem Zustande niederer Entwickelung stehen bleiben, indem ihre Membranen keine gehörige Verdickung erfahren. Das Nichtzustandekommen der Verdickung ist aber nach Kraus Folge des im Dunkeln ausgeschlossenen Assimilationsprocesses. Etwa vorhandene Reservestoffe sind bedeutungslos für den Process des Dickenwachsthums der Zellhäute; diese letzteren bleiben daher sehr dehnbar und werden in Folge dessen von dem Mark energisch gedehnt. Auf den ersten Blick erscheint nun weiter die Thatsache der beträchtlichen Ueberverlängerung der Markzellen etiolirter Internodien mit dem Gesagten ganz unvereinbar, denn dieselben erfahren ja nicht, wie die Zellen der peripherischen Gewebe, eine passive Dehnung, sondern sie dehnen sich activ aus. So viel ist danach gewiss, dass der Ueberverlängerung der Markzellen etiolirter Internodien ganz andere Ursachen als der Ueberverlängerung der Zellen der peripherischen Gewebe zu Grunde liegen müssen, und als wichtigste Ursache sieht Kraus die den Markzellen thatsächlich eigenthümliche Fähigkeit an, sehr bedeutende Wasserquantitäten aufzunehmen. Kommt diese Fähigkeit zur Geltung, so dehnen sich die Markzellen beträchtlich aus, und das Mark ist weiter bestrebt, die weichen peripherischen Gewebemassen zu seiner eigenen Länge auszudehnen [1]).

1) In Folge des Ausdehnungsbestrebens der Markzellen müssen in etiolirten In-

Mit Bezug auf die Zellübervermehrung in etiolirten Internodien ist zunächst hervorzuheben, dass nach allgemeinen Erfahrungen der Zelltheilungsprocess sowohl im Licht als auch in tiefster Finsterniss erfolgen kann [1]). Ob speciell Fälle existiren, in denen das Licht oder die Dunkelheit die Zelltheilung direct beschleunigend beeinflussen, muss vor der Hand noch dahingestellt bleiben. Für den besonderen vorliegenden Fall der Zellübervermehrung in etiolirten Internodien könnte man sich mit Kraus vorstellen, „dass eine gewisse Länge von der Zelle nicht überschritten werden darf, ohne dass das Gleichgewicht in dem Organismus derselben gestört und eine Zerfällung derselben einträte, und danach annehmen, dass, wenn die etiolirten Zellen der peripherischen Gewebe durch das Mark zu einer bedeutenden Länge ausgezogen sind, oder die Markzellen sich zu einer hohen Länge durch Wasseraufnahme gestreckt haben, mit Nothwendigkeit in denselben eine Theilung eintreten müsse." In diesem Falle wäre die Zellübervermehrung in etiolirten Internodien nicht dem Lichtmangel direct zuzuschreiben, sondern als eine Folge der Zellüberverlängerung aufzufassen.

Gewissermassen den Uebergang zwischen dem hier berührten Verhalten der Internodien und demjenigen der Blätter der meisten dicotylen Pflanzen bildet das Verhalten der Blätter monocotyler Gewächse beim Etiolement. Dieselben erlangen im Finstern aus gleichen Gründen wie die Internodien eine bedeutende Länge, denn zwischen ihren einzelnen Geweben machen sich, wie Hofmeister gezeigt hat, Spannungsverhältnisse geltend, welche ja die Ueberverlängerung überhaupt ermöglichen. Die Breitenentwickelung der Blätter monocotyler Pflanzen ist aber nach Kraus im Finstern eine nur geringe, weil sie in dieser Beziehung dem Gesetze der auf Selbsternährung angewiesenen Blätter der meisten dicotylen Gewächse folgen.

Diese letzteren bleiben im Finstern, wie allgemein bekannt, sehr klein; sie erreichen weder die Länge noch die Breite norma-

---

ternodien Spannungsverhältnisse herrschen. Die Spannungsgrösse (gemessen an dem Grössenunterschied zwischen Epidermis und Mark) ist aber in etiolirten Internodien, wie Kraus nachweist, geringer als in normalen. Diese geringe Spannung ist offenbar, was Kraus allerdings nicht deutlich erkannt hat, vor allen Dingen Folge der grösseren Dehnbarkeit der peripherischen Gewebe etiolirter Internodien, indem durch das dadurch bedingte raschere Wachsthum derselben der Ausgleich ihrer Elasticitätsspannung begünstigt wird.

1) Vgl. Sachs, Lehrbuch d. Botanik. 1874. S. 723.

ler Blätter. Etiolirte Btätter wachsen, wie Kraus eingehend zeigt, von dem Momente an, wo sie normalerweise an das Licht kommen sollten, nicht mehr nennenswerth. Die etiolirten Blätter bleiben also auf einer geringen Stufe der Entwickelung stehen, und dies zeigt sich auch darin, dass sie kürzere Epidermis- und Parenchymzellen sowie weniger entwickelte und verdickte Fibrovasalstrangelemente als normale Blätter besitzen.

Wenn wir zunächst die Etiolirungserscheinungen der Laubblätter specieller ins Auge fassen, so haben diese nach Kraus in der Unmöglichkeit der Selbsternährung der Organe im Finstern ihre Ursache. Während nämlich die Internodien etiolirter Pflanzen stets Stärke enthalten, so sind die Laubblätter derselben immer fast völlig amylumfrei. Dieser Stärkemangel der Blätter ist nach Kraus als Ursache ihres Stehenbleibens auf niederer Entwickelungsstufe anzusehen. Die etiolirten Blätter können nur auf Kosten von directen Assimilationsproducten wachsen; die Stärke, welche etwa in Reservestoffbehältern aufgespeichert erscheint, ist für sie so gut wie nicht vorhanden.

Dieser Nahrungsmangel kann aber für Cotyledonen, die reichlich mit Stärke oder Oel angefüllt sind und im Finstern dennoch nicht wachsen, nicht als Grund der Wachsthumsstörung angesehen werden. Hier muss ein anderes Moment wirken, und dieses liegt nach Kraus darin, dass die vorhandene Stärke ohne Zuthun der Lichtstrahlen nicht auf die Dauer in Zellstoff umgesetzt werden kann.

Wenn wir die wichtigsten Gesichtspunkte, welche Kraus zur Erklärung der Etiolirungserscheinungen herangezogen hat, noch einmal in Kürze betonen, so ist zu bemerken, dass die Laubblätter dicotyler Pflanzen im Dunkeln nicht wachsen, weil sie auf Selbsternährung angewiesen sind. Dagegen kann das Flächenwachsthum der Zellen der Internodien im Finstern und ebenso bei Lichtzutritt erfolgen, aber das Dickenwachsthum der Zellen ist im Dunkeln stets ein relativ unbedeutendes. Die peripherischen Gewebemassen etiolirter Internodien bleiben daher sehr dehnbar; sie können vom Mark, welches überdies in Folge gesteigerter Wasseraufnahme seiner Zellen eine beträchtliche Verlängerung erfährt, bedeutend gedehnt werden, und auf diese Weise kommt die Ueberverlängerung etiolirter Pflanzentheile zu Stande.

Den Resultaten der allerdings recht werthvollen Untersuchungen von Kraus gegenüber, lassen sich verschiedene Bedenken erheben. Wir werden dieselben im Verlaufe unserer Auseinandersetzungen genauer kennen lernen, und wir werden sehen, dass der

schwächste Punkt der gesammten Anschauungsweise des genannten Autors wohl in der Annahme der Nothwendigkeit der Selbsternährung für die Laubblätter liegt. Schon Batalin[1]) hat gerade diesen Verhältnissen seine besondere Aufmerksamkeit gewidmet, und wenngleich er zugiebt, dass etiolirte Blätter sehr arm an Amylum sein mögen, so hat er dennoch selbst beobachtet, dass z. B. die im Finstern erwachsenen Blätter von Lupinus luteus erhebliche Traubenzuckerquantitäten enthalten. Derartige Beobachtungen veranlassten Batalin zu der Annahme, dass Nahrungsmangel unmöglich die Ursache der Verkümmerung etiolirter Blätter sein könne. Dagegen meint Batalin, dass die etiolirten Blätter deshalb klein bleiben, weil in ihnen der Process der Zelltheilung nicht in normaler Weise erfolgt. Die experimentellen Untersuchungen, deren Resultate den genannten Forscher zu dieser Ansicht führten, wurden in der Weise ausgeführt, dass derselbe Keimpflanzen aus Samen erzog, und einen Theil des Beobachtungsmaterials in constanter Finsterniss beliess, während ein anderer Theil der Pflanzen von Zeit zu Zeit $1^1/_2$—3 Stunden lang schwachem Lichte ausgesetzt wurde, sonst aber ebenfalls im Dunkeln verharrte. Es ist mit Nachdruck zu betonen, dass die Beleuchtung niemals ein Ergrünen der Chlorophyllkörner herbeiführte, und in Folge dessen die Assimilation also ausgeschlossen blieb. Keimpflanzen von Phaseolus vulgaris wurden auf diese Weise z. B. vom 18. Juni bis zum 10. Juli cultivirt. Am 30. Juni zeigten die Primordialblätter einer Pflanze (a) eine Länge von 13 Mm. und eine Breite von 12 Mm. Die Primordialblätter einer zweiten Pflanze (b) waren 11 Mm. lang und 10 Mm. breit. Die Pflanze a wurde nun alle 2—3 Tage $1^1/_2$—3 Stunden lang dem schwachen Licht ausgesetzt; die Pflanze b verweilte aber stets im Dunkeln. Am 10. Juli zeigten die Primordialblätter der Pflanze a eine Länge von 30 und eine Breite von 28 Mm. Die Blätter der Pflanze b waren 15 Mm. lang und 15 Mm. breit.

Batalin zieht nun aus den Resultaten seiner Untersuchungen die folgenden Schlussfolgerungen:

„1) Das Chlorophyll spielt keine Rolle bei der Entwickelung der Blätter. Aus den Versuchen ist es klar, dass die Blätter eine bedeutende Grösse erreichen ohne Mitwirkung des Chlorophylls, welches sich nicht entwickeln konnte.

2) Die Blätter können auf Kosten der in den Samen abge-

1) Vgl. Batalin: Botan. Zeitung. 1871. S. 669.

lagerten Nahrungsstoffe sich entwickeln. Die Meinung, dass für die anfängliche Ernährung der Blätter die Selbsternährung nothwendig ist, muss man gänzlich verwerfen. Die Selbsternährung der Blätter wird nur dann nothwendig, wenn in der Pflanze keine Nahrungsstoffe bleiben.

3) Im Dunkeln entwickeln die Blätter sich deshalb nicht, weil ihre Zellen sich nicht theilen können. Die Meinung, dass im Dunkeln die Blätter sich des Mangels an Stärke wegen nicht entwickeln, muss man als unrichtig verwerfen.

4) Um die Zelltheilungen der Blätter hervorzubringen, ist minder intensives Licht nothwendig, und kann seine Wirkung kürzer sein, als es für die Chlorophyllbildung nöthig ist."

Die Selbsternährungshypothese, welche Kraus zur Erklärung der Etiolirungserscheinungen der Blätter aufgestellt hat, muss man gewiss auf Grund der Angaben Batalin's fallen lassen. Aber das von dem letzteren Forscher geltend gemachte Erklärungsprincip steht ebenfalls mit gewissen Thatsachen im Widerspruch. Nach den bisherigen Erfahrungen ist der Process der Zelltheilung nämlich, wie oben bereits angegeben worden ist, im Allgemeinen nicht abhängig von der Gegenwart des Lichtes. Danach erscheint die Hypothese Batalin's schon als eine höchst unwahrscheinliche, und sie muss als vollkommen unhaltbar erscheinen, wenn man erfährt, dass in etiolirten Blättern in der That sehr reichliche Zelltheilungen erfolgen können. Prantl[1]) hat nämlich bei der Untersuchung der bezüglichen Verhältnisse am Pallisadenparenchym der Primordialblätter von Phaseolus vulgaris folgende Resultate erhalten[2]):

	im ruhenden Samen.	an etiolirten Pflanzen.		an normalen Pflanzen.	
Grösste Breite des Blattes	2.400	11.000	18.000	10.000	25.000
Mittlere Breite einer Zelle an derselben Stelle	0.007	0.008	0.007	0.007	0.011
Quotient, d. h. durchsch. Zellenzahl	343	1375	2571	1429	2273

Lichtzutritt ist demnach für das Zustandekommen des Processes der Zelltheilung in den Blättern nicht absolut nothwendig. Die Zelltheilung erfolgt sowohl unter dem Einfluss des Lichtes als auch im Finstern, und wenn etiolirte Laubblätter dicotyler Pflanzen dennoch oft weit kleiner als diejenigen normaler Pflanzen sind,

1) Vgl. Prantl, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg. B. 1, S. 384.

2) Die Zahlen der folgenden Tabelle repräsentiren Mittelwerthe und drücken Mm. aus.

so kann die Ursache dieser Erscheinung nur in dem Unterbleiben eines energischen Flächenwachsthums der Blattzellen im Dunkeln gesucht werden.

Danach tritt für die Beurtheilung der Etiolirungserscheinungen der Blätter dicotyler Pflanzen die Frage in den Vordergrund, weshalb das Flächenwachsthum der Blattzellen in constanter Finsterniss ein weit schwächeres als unter normalen Umständen ist. Bevor wir an die Beantwortung dieser Frage herantreten und damit einen Kernpunkt des ganzen hier in Rede stehenden Problems berühren, müssen wir uns noch vor allen Dingen mit den Ergebnissen einer werthvollen Untersuchung Godlewski's[1]) über die Etiolirungserscheinungen bekannt machen.

Godlewski geht zunächst von dem ganz richtigen Gedanken aus, dass es zur Erforschung der wahren Ursachen des Etiolements nothwendig sei, die Controlpflanzen, welche man bei Zutritt des Lichtes cultivirt, nicht, wie es bisher stets geschehen, in einer kohlensäurehaltigen Atmosphäre, sondern in einem Raum, der keine Kohlensäure enthält, erwachsen zu lassen. Denn vermögen die grünen Pflanzen zu assimiliren, so kann man niemals wissen, ob die an ihnen beobachteten Erscheinungen als Folge der Lichtwirkung auf den Wachsthumsprocess an sich, oder als Resultat der Assimilationsthätigkeit zu deuten sind.

Im ersten Capitel dieses Hauptabschnitts habe ich bereits auf einige Ergebnisse der Untersuchungen Godlewski's hingewiesen, und die genauere Betrachtung der angeführten Zahlen sowie der sonstigen unmittelbaren Beobachtungsresultate lässt folgende Thatsachen in ein helles Licht treten. Die Pflanzen, welche in einer kohlensäurefreien Atmosphäre unter dem Einfluss des Lichts zur Entwickelung gelangen (also nicht assimiliren können), sind von ganz normalem Habitus und haben mit etiolirten Pflanzen keine Aehnlichkeit. Dies Ergebniss erhielt Godlewski nicht nur bei der Ausführung seiner Experimente mit Raphanuskeimlingen, sondern die Versuche mit Phaseolus- und Zeakeimpflanzen ergaben dasselbe. Die grünen nicht assimilirenden Internodien zeigten keine Ueberverlängerung, und ebenso war keine Ueberverlängerung der grünen Maisblätter zu constatiren. Wenn man sich ferner an die oben mitgetheilten Resultate der Untersuchungen Batalin's erinnert und weiter in Betracht zieht, dass Blattgebilde auch nach Angaben von Sydney H. Vines[2]) unter Be-

1) Vgl. Godlewski: Botan. Zeitung. 1879. S. 81.

2) Vgl. Sydney H. Vines, Arbeiten des botan. Instituts in Würzburg. B. 2, S. 120.

dingungen wachsen können, welche keine Assimilation ermöglichen, so kann der Satz mit Bestimmtheit ausgesprochen werden, dass die Etiolirungserscheinungen nicht als Folge verhinderter Assimilationsthätigkeit anzusehen sind. Der G. Kraus'schen Selbsternährungshypothese der Blätter ist somit jede Stütze entzogen.

Die Gesammtmenge der organischen Trockensubstanz ist in den Cotyledonen der etiolirten Raphanuspflanzen viel kleiner als in denen der grünen. Im Dunkeln müssen also mehr Baustoffe aus den Cotyledonen in die übrigen Pflanzentheile auswandern als unter dem Einflusse des Lichtes. Ebenso fand Godlewski, dass das Gesammttrockengewicht etiolirter Primordialblätter von Phaseoluskeimpflanzen weit geringer als dasjenige solcher ist, welche sich unter Ausschluss der Assimilation im Licht entwickelt haben. Hier müssen also den Primordialblättern bei Lichtzutritt mehr Baustoffe als im Finstern zufliessen. Auf der anderen Seite darf nicht übersehen werden, dass das Trockensubstanzgewicht der Stammgebilde etiolirter Raphanus- sowie Phaseoluskeimlinge weit erheblicher als dasjenige grüner Keimpflanzen ist. Zu ganz ähnlichen Resultaten wie Godlewski ist Karsten[1]) bei dem Studium der Etiolirungserscheinungen gelangt. Derselbe fand, dass das Trockensubstanzgewicht der Internodien etiolirter Keimpflanzen von Phaseolus multiflorus viel grösser als dasjenige der Internodien grüner Pflanzen ist. Mit Rücksicht auf die Stiele der Primordialblätter von Phaseolus ist ein ähnliches Verhältniss von Karsten constatirt worden, während dagegen constante Dunkelheit eine Minderproduction an Primordialblättern herbeiführt. Der genannte Forscher ermittelte ferner, dass einer Mehrproduction von Internodien im Dunkeln stets ein absolut grösserer Gehalt der Pflanzentheile an Cellulose entspricht, während hingegen die Primordialblätter, welche im Finstern erwachsen sind, absolut ärmer an Zellstoff als die bei Lichtzutritt zur Entwickelung gelangten erscheinen. Mit Rücksicht auf die Etiolirungserscheinungen monocotyler Pflanzen verdienen meine Beobachtungen Beachtung, wonach bei Zea Mays im Finstern die Production der eine Ueberverlängerung erfahrenden Blätter grösser als bei Lichtzutritt ist. Damit Hand in Hand geht ein beträchtlicherer absoluter Cellulosegehalt der etiolirten als der normalen Maisblätter[2]).

---

1) Vgl. Karsten, Versuchsstationen. B. 13, S. 185.

2) Vgl. Detmer, Physiol.-chem. Untersuchungen über die Keimung etc. 1875. S. 59.

Endlich weise ich hier noch einmal mit allem Nachdruck darauf hin, dass nach Godlewski und anderen Forschern, wie bereits im ersten Capitel dieses Hauptabschnittes betont worden ist, diejenigen in constanter Finsterniss erwachsenen Pflanzentheile, welche unter dem Einflusse der Dunkelheit eine Ueberverlängerung erfahren (Internodien und manche Blätter) procentisch wasserreicher als die entsprechenden grünen Organe sind, während andererseits die Blattgebilde dicotyler Pflanzen im etiolirten Zustande procentisch weniger Wasser als im normalen Zustande enthalten.

Indem Godlewski sich nun weiter bemüht, die Ursachen der verschiedenen Etiolirungserscheinungen aufzufinden, berührt er zunächst die in neuerer Zeit mehrfach hervorgehobene Frage, ob nicht die gesammten Verhältnisse, welche sich auf die Formbildung der Pflanzen im Finstern und bei Lichtzutritt beziehen, als Resultat einer gegenseitigen Beeinflussung des Wachsthums der einzelnen Pflanzenglieder aufgefasst werden können. Wenn man beobachtet, dass dicotyle Pflanzen im Finstern lange Internodien, aber kleine Blätter, bei Lichtzutritt aber kürzere Internodien und grössere Blätter produciren, wenn die Blätter der Monocotyledonen im Finstern sehr lang werden, aber schmal bleiben, im Licht hingegen bei geringerer Länge eine grössere Breite erreichen, wenn ferner manche Pilze bei constanter Dunkelheit lange Stiele und kleine Hüte, bei Lichtzutritt aber kürzere Stiele und grössere Hüte erzeugen, so drängt sich uns die Frage, welche wir soeben ausgesprochen haben, in der That mit aller Entschiedenheit auf.

Der erste, welcher das Problem der Etiolirungserscheinungen in der angedeuteten Weise aufzufassen bestrebt war, ist wohl Rzentkowsky gewesen [1]). Weiter hat dann C. Kraus versucht, die Phänomene des Etiolements einzig und allein aus dem Princip der gegenseitigen Beeinflussung des Wachsthums der Pflanzenglieder zu erklären [2]). Lichtmangel begünstigt das Wachsthum eines jeden Pflanzentheils; wenn wir aber trotzdem sehen, dass gewisse Organe im Dunkeln verkümmern, so hat dies nur seinen Grund in dem besonders lebhaften Wachsthum anderer Theile der Pflanze. Diejenigen Pflanzenglieder, welche im Entwickelungsgange zuerst zu wachsen beginnen, werden immer das lebhafteste Wachsthum

---

1) Vgl. Rzentkowsky: Botanischer Jahresbericht für 1876. S. 745.

2) Vgl. C. Kraus, Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, B. 2 S. 171.

zeigen; der Grund aber, weshalb sie eben zuerst eine Entwickelung erfahren, liegt nach C. Kraus (Wollny's Forschungen B. 2 S. 193) in einer gewissen Erregungsfähigkeit des Plasma ihrer Zellen durch die Wachsthumsbedingungen.

Es musste nun Kraus, um seine Ideen über die Wachsthumsverhältnisse der Pflanzen weiter zu begründen, selbstverständlich sehr daran liegen, zu zeigen, dass nicht nur Beleuchtungsverhältnisse, sondern ebenfalls anderweitige Momente, indem sie das Wachsthum eines Pflanzengliedes beeinflussen, eben dadurch auch indirect auf die Entwickelung anderer Pflanzentheile einwirken. In der That will Kraus im Methylalkohol ein Mittel gefunden haben, welches unter allen Umständen z. B. auf das Wachsthum des hypocotylen Gliedes der Keimpflanze von Trifolium pratense retardirend einwirken soll. Wenn daher die Rothkleekeimpflanzen Gelegenheit finden, Methylalkohol aufzunehmen, so geht mit dem beträchtlich geschwächten Wachsthum des hypocotylen Gliedes eine erhebliche Steigerung der Wachsthumsgeschwindigkeit der Cotyledonen Hand in Hand, und zwar machen sich die hier berührten Erscheinungen sowohl im Dunkeln als auch bei Lichtzutritt geltend. Die Alkoholkeimlinge zeigen somit dieselben Merkmale, welche man sonst nur durch Lichteinfluss hervorgerufen zu sehen gewöhnt ist.

Godlewski hegt ebenfalls die Ueberzeugung, dass die Wachsthumsverhältnisse eines Pflanzentheils durch diejenigen anderer beeinflusst werden können, und er hat es versucht, diese Ansicht durch besondere Experimente weiter zu begründen. Er liess Raphanuskeimlinge zunächst im Finstern erwachsen, um sie dann dem Einflusse des Lichtes auszusetzen. Einige dieser Pflanzen entwickelten sich fernerhin unter ganz gewöhnlichen Umständen; bei anderen wurden allein die Cotyledonen und bei noch anderen nur die hypocotylen Glieder in geeigneter Weise verdunkelt. Die alleinige Verdunkelung der Cotyledonen führte eine Beeinträchtigung des Wachsthums derselben, aber eine Zunahme des Längenwachsthums des hypocotylen Gliedes herbei. Die alleinige Verdunkelung der hypocotylen Glieder beschleunigte das Wachsthum derselben sehr wesentlich, und bedingte gleichzeitig ein etwas geringeres Wachsthum der Cotyledonen.

Wenn es somit zweifellos ist, dass die Wachsthumsverhältnisse eines Pflanzentheils diejenigen anderer modificirend beeinflussen, eine Erscheinung, die gewiss in einem Zusammenhang mit den Phänomenen der Translocation plastischer Stoffe in den Ge-

wächsen steht, so ist dennoch zu bemerken, dass das erwähnte Princip nicht ausreicht, um die sich auf die Ursache des Etiolements beziehenden Fragen befriedigend zu lösen. Wenn die Internodien dicotyler Pflanzen im Finstern sehr lang werden, so hat dies durch Lichtmangel inducirte Verhältniss gewiss als solches einen Einfluss auf das Wachsthum der Blätter. Dieselben bleiben klein; aber wenn C. Kraus als einzige Ursache dieser Verkümmerung der Blätter das gesteigerte Wachsthum der Stengeltheile ansieht, so kann ich ihm darin nicht beistimmen. Vielmehr bin ich der Ueberzeugung, dass die Blätter in constanter Finsterniss nicht nur in Folge des schnelleren Wachsthums der Internodien, sondern ebenfalls schon deshalb eine Beeinträchtigung ihrer Entwickelungsfähigkeit erfahren, weil die constante Dunkelheit an sich das Wachsthumsvermögen ihrer Zellen schwächt.

Godlewski berichtet in seiner citirten Abhandlung über Versuche, bei deren Ausführung er Raphanussamen zunächst im Dunkeln keimen liess. Nach bestimmter Zeit wurden die Cotyledonen von den jungen Pflänzchen abgelöst, um sie sowohl wie auch die hypocotylen Glieder (sammt den Wurzeln) einige Tage lang im Licht oder im Dunkeln, aber in kohlensäurefreier Atmosphäre, weiter vegetiren zu lassen. Die im Finstern cultivirten hypocotylen Glieder sammt Wurzeln zeigten schliesslich eine Durchschnittslänge von 56.4, die bei Lichtzutritt erwachsenen aber eine Durchschnittslänge von 37.6 Mm. Die Cotyledonen hingegen, welche sich im Licht entwickelt hatten, waren länger und breiter als diejenigen, welche dem Einfluss constanter Finsterniss ausgesetzt gewesen waren. Es ist noch hervorzuheben, dass die im Licht erwachsenen Cotyledonen procentisch weit mehr Wasser als die im Dunkeln cultivirten enthielten, während die hypocotylen Glieder ein entgegengesetztes Verhältniss zeigten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen beweisen unzweideutig, dass die Cotyledonen unabhängig von der Beeinflussung seitens der hypocotylen Glieder im Lichte stärker als in constanter Finsterniss zu wachsen vermögen[1]), und ebenso lassen sie erkennen, dass das Licht das Wachsthum der hypocotylen Glieder unmittelbar beeinträchtigt.

---

1) C. Kraus (vgl. botan. Zeitung, 1879, S. 332) ist der Meinung, dass die Resultate der Experimente Godlewski's diese Schlussfolgerung nicht gestatten. C. Kraus nimmt an, dass die Cotyledonen, welche Godlewski in kohlensäurefreie Luft brachte, bei Lichtzutritt dennoch Gelegenheit zur Assimilation fanden, und dass dies Verhältniss ihr lebhafteres Wachsthum bedingte. Da aber die isolirten Cotyledonen, welche

Ueberblicken wir unsere letzten Darstellungen, so darf dies mit Sicherheit behauptet werden, dass das Licht und die constante Finsterniss einerseits einen directen Einfluss auf das Wachsthum der einzelnen Theile einer Pflanze ausüben. Es darf aber andererseits nicht übersehen werden, dass diese directen Wirkungen des Lichts und der Dunkelheit sofort andere Wirkungen nach sich ziehen, indem Beeinträchtigung oder Steigerung des Wachsthums eines Organs sogleich Beschleunigung resp. Verminderung des Wachsthums eines anderen Pflanzentheils bedingt [1]). Für uns handelt es sich noch speciell darum, zu untersuchen, weshalb constante Dunkelheit auf das Wachsthum mancher Pflanzenglieder unmittelbar beschleunigend, auf dasjenige anderer aber direct verlangsamend einwirkt [2]).

Bei Gelegenheit unserer im dritten Capitel dieses Hauptabschnitts angestellten Erörterungen über die Ursachen des Wachsthums, auf deren Resultate ich hier ganz speciell hinweisen möchte, ist hervorgehoben worden, dass Lichtmangel das Wachsthum der Internodien begünstigt, indem die Dunkelheit die Dehnbarkeit der Cellulosemembranen sowie des Hyaloplasma der Zellen steigert. Die gespannten Schichten der Zellen vollkommen oder theilweise etiolirter Internodien sind nun aber unzweifelhaft weit dehnbarer wie diejenigen der Zellen normaler Stengeltheile. Etiolirte Zellen bleiben ja, wie wir gesehen haben, auf einer niederen Stufe der Entwickelung stehen. Sie können daher durch den Turgor stärker als normal ausgebildete Zellen gedehnt werden, und dies führt unmittelbar zu einer Steigerung der Wachsthumsgeschwindigkeit. Ueberdies ist noch zu erwähnen, dass etiolirte Internodien sehr

---

Godlewski im Finstern oder bei Lichtzutritt wachsen liess, nach Abschluss der Versuche fast genau dasselbe Trockensubstanzgewicht zeigten, so scheinen mir die von C. Kraus geltend gemachten Bedenken nicht begründet zu sein.

1) Auch das gesteigerte Wachsthum eines Pflanzentheils in bestimmter Richtung kann das Wachsthum desselben Organs in anderer Richtung deprimiren.

2) Ich werde im Folgenden der Einfachheit wegen als Repräsentanten solcher Organe, die in constanter Finsterniss schneller als bei Lichtzutritt wachsen, die Internodien, als Repräsentanten solcher Pflanzenglieder aber, deren Wachsthum durch constante Finsterniss beeinträchtigt wird, die Blätter dicotyler Pflanzen wählen. Den Internodien analog verhalten sich die Blattstiele einiger Pflanzen, die Blätter der Monocotyledonen und viele Wurzeln. Bei der Beurtheilung der Wachsthumsverhältnisse dieser letzteren ist ganz besonders sorgfältig Rücksicht auf die Abhängigkeit des Wachsthums von secundären Momenten (Beeinflussung durch das Wachsthum anderer Pflanzentheile, Assimilation etc.) zu nehmen.

häufig Spannungserscheinungen zeigen. Die peripherischen Gewebeschichten etiolirter Stengel setzen dem sie spannenden Mark, weil sie eben sehr dehnbar sind, einen verhältnissmässig geringen Widerstand entgegen; die Dehnung der gespannten Schichten der Rindenzellen etc. in etiolirten Internodien ist in Folge dessen beträchtlicher als in grünen Stengeln und somit wird ebenfalls hierdurch das Wachsthum der ersteren beschleunigt. Die Ueberverlängerung der peripherischen Gewebeschichten etiolirter Internodien muss unmittelbar ein lebhafteres Wachsthum der Markzellen herbeiführen, denn da sich dem Ausdehnungsbestreben derselben in bei Lichtabschluss erwachsenen Stengeln nur relativ geringe Widerstände in den Weg stellen, so wird die Einlagerung neuer Tagmen zwischen die bereits vorhandenen erleichtert [1]).

Ueberblickt man die hier berührten Verhältnisse, so fällt auf die Thatsache, dass etiolirte Internodien procentisch wasserreicher als normale sind, ein helles Licht. Wenn nämlich die Dehnbarkeit der gespannten Schichten einer Zelle recht gross ist, so muss dieselbe schon deshalb, wenn nur die osmotische Saugkraft des Zellinhaltes hinreicht, eine starke Turgorausdehnung erfahren, und damit steht ein relativ hoher Wassergehalt der Zelle im unmittelbarsten Zusammenhange. Dieser Wassergehalt der Zelle muss aber noch gesteigert werden (immer ausreichende osmotische Saugkraft des Zellinhalts vorausgesetzt), wenn ein lebhafteres Wachsthum die Ausgleichung der Elasticitätsspannung ihrer gespannten Schichten beschleunigt, und wenn die Zelle, falls sie mit anderen Zellen verbunden ist, durch diese letzteren nur wenig comprimirt wird (Markzellen etiolirter Pflanzen).

Die Frage, ob die osmotische Saugkraft des Zellinhaltes der Zellen etiolirter Internodien bedeutender ist, als diejenige grüner Stengelgebilde, scheint mir noch nicht sicher entschieden zu sein. Die grössere Dehnbarkeit der gespannten Schichten der Zellen im Finstern erwachsener Internodien reicht hin, wie ich gezeigt habe, um den bedeutenden Wassergehalt der in Rede stehenden Pflanzentheile zu erklären, aber immerhin liegt doch die Möglich-

---

1) Die Ansicht von G. Kraus, wonach das Mark etiolirter Internodien einen unmittelbaren Einfluss auf die Ueberverlängerung derselben ausübt, kann man, wie es Godlewski gethan, nach den vorstehenden Auseinandersetzungen gänzlich fallen lassen, oder man braucht sie, wie ich meine, doch nicht absolut nothwendig aufrecht zu erhalten.

keit vor, dass derselbe nicht durch das erwähnte Wachsthumsmoment allein, sondern ebenso durch eine gesteigertere osmotische Saugkraft des Zellinhaltes herbeigeführt wird. H. de Vries[1]) ist der Ansicht, dass die organischen Säuren eine besonders grosse Bedeutung für das Zustandekommen der osmotischen Saugkraft der Zellen besitzen, und er giebt an, dass nach Wiesner's und seinen eigenen Beobachtungen, die im Dunkeln erwachsenen Stengel dicotyler Pflanzen und die Blätter monocotyler Gewächse einen stark sauer reagirenden Zellsaft besitzen, während der Zellsaft der entsprechenden Pflanzentheile, die sich unter dem Einfluss des Lichtes entwickelt haben, kaum sauer reagirt. Danach würde allerdings die osmotische Saugkraft etiolirter Zellen bedeutender als diejenige normaler sein, aber auf jeden Fall bedarf es weiterer Untersuchungen, um den Werth der geltend gemachten Anschauungen ermessen zu können.

Bei der Beurtheilung derjenigen Erscheinungen, welche die Blätter dicotyler Pflanzen, die constanter Finsterniss ausgesetzt sind, zeigen, ist an dieser Stelle namentlich daran zu erinnern, dass sich die Blätter unter ganz normalen Lebensbedingungen bezüglich ihrer Wachsthumsverhältnisse nicht wesentlich von den Internodien unterscheiden. Die Blätter zeigen nämlich eine tägliche Periode des Wachsthums, sie sind überdies im Stande, bei einseitiger Beleuchtung heliotropische Krümmungen auszuführen, und das Wachsthum ihrer Zellen wird wie dasjenige der Zellen der Internodien durch die Lichtstrahlen beeinträchtigt, durch Dunkelheit aber gesteigert. Dennoch lässt sich constatiren, dass constante Finsterniss die Wachsthumsgeschwindigkeit der Blattzellen unmittelbar deprimirt.

Die Erscheinung, dass das Wachsthum der Blätter unter normalen Verhältnissen (Wechsel von Tag und Nacht) durch das Licht beeinträchtigt wird, kann gewiss in der Weise erklärt werden, wie es von uns im dritten Capitel dieses Hauptabschnittes versucht worden. Die Lichtstrahlen vermindern die Dehnbarkeit der gespannten Schichten der Blattzellen und sie wirken dadurch einem ausgiebigen Wachsthum entgegen. Aber nichts desto weniger ist das Licht nothwendig, um ein normales Wachsthum der Blätter überhaupt zu ermöglichen, und aus diesem Grunde können dieselben in constanter Finsterniss eben keine normale Entwickelung erfahren. Dieser

1) Vgl. H. de Vries: Botan. Zeitung. 1879. S. 852.

eigenthümliche Einfluss des Lichtes auf das Blattwachsthum scheint aber darin zu bestehen, dass die leuchtenden Strahlen die Bildung und Anhäufung solcher Stoffe in den Blattzellen ermöglichen, welche eine gesteigerte osmotische Saugkraft des Zellinhalts und damit eine schnellere Einlagerung neuer Tagmen zwischen die bereits vorhandenen Tagmen der gespannten Zellschichten herbeiführen. In der That lassen sich von diesem Gesichtspunkte aus die Ergebnisse der oben erwähnten Untersuchungen Batalin's leicht verstehen, und ferner ist hervorzuheben, dass ja solche Blattgebilde, die in constanter Finsterniss rudimentär geblieben sind, stets procentisch wenig Wasser enthalten, während Lichtzutritt ihren Wassergehalt, die Turgorausdehnung ihrer Zellen und schliesslich ihre Wachsthumsgeschwindigkeit steigert. Wenn die Ansicht von H. de Vries, wonach organische Säuren eine grosse Rolle bei dem Zustandekommen des Turgors spielen, indem sie die Grösse der osmotischen Saugkraft des Zellinhalts wesentlich bestimmen, richtig sein sollte, so könnte man sich denken, dass das Licht die Anhäufung der Säuren in den Blattzellen erst ermöglichte und deshalb als eine für das Zustandekommen des normalen Blattwachsthums unerlässliche Bedingung auzusehen sei, während constante Dunkelheit nach dieser Vorstellung die Anhäufung organischer Säuren in den Blattzellen verhindern müsste. H. de Vries will in der That in den kleinen etiolirten Blättern dicotyler Pflanzen höchstens Spuren organischer Säuren gefunden haben.

Mit Rücksicht auf die Dehnbarkeit der gespannten Zellschichten der Zellen etiolirter Blätter ist zu bemerken, dass dieselbe unzweifelhaft grösser ist als diejenige der Zellen normaler Blätter. Aber wie wir dieser grösseren Dehnbarkeit bei der Besprechung jener Ursachen, welche das Etiolement der Internodien herbeiführen, eine erhebliche Bedeutung beimessen mussten, so kann dasselbe hier nicht geschehen. Denn was nützt den etiolirten Blattzellen die grosse Dehnbarkeit der gespannten Zellschichten, wenn die osmotische Saugkraft des Zellinhalts so gering ist, dass jene Schichten thatsächlich nicht gehörig gedehnt werden können —.

Anhang.

Der Einfluss der Elektricität sowie verschiedener chemischer Verbindungen auf die Samen und Keimpflanzen.

In den beiden letzten Capiteln sind die Einflüsse, welche Temperatur- und Beleuchtungsverhältnisse auf die Samen und Keim-

pflanzen ausüben, behandelt worden. Die Wirkung der Schwerkraft auf die verschiedenen Glieder der Keimpflanzen soll im letzten Capitel in einem geeigneten Zusammenhange Erwähnung finden; dagegen möchte ich hier in aller Kürze die Frage nach der Beziehung der Elektricität zu den Keimpflanzen behandeln und ferner des Einflusses gedenken, den verschiedene anorganische sowie organische Substanzen auf die Samen ausüben.

Die von mehreren Seiten bestätigten Resultate der sorgfältigen Untersuchungen von Buff[1]) mit einzelnen Pflanzentheilen und unversehrten Pflanzen zeigen, dass sich die inneren Gewebe und die Wurzeloberfläche der Landpflanzen zu der Oberfläche der Stamm- und Blattgebilde derselben dauernd negativ elektrisch verhalten. Werden die Untersuchungsobjecte in den Schliessungskreis eines sehr empfindlichen Multiplicators eingeführt, so geht ein elektrischer Strom von der cuticularisirten Oberfläche der Pflanzentheile durch den Leitungsdraht zur Wundfläche oder der Wurzeloberfläche.

Neuerdings hat Kunkel[2]) die elektromotorischen Wirkungen, welche man von bestimmten Oberflächenpunkten unversehrter Blätter sehr verschiedener dicotyler Pflanzen erhalten kann, genauer untersucht. Diese Wirkungen sind zunächst nicht Folge in den Blättern präexistirender Spannungsdifferenzen, sondern es existiren nur Unterschiede in der Art und Anordnung der Theilchen des organisirten Pflanzengewebes, und diese bedingen bei dem Anlegen feuchter Elektroden Unterschiede im Auftreten gewisser Bewegungsvorgänge, Wasserbewegung, deren theilweise Ausgleichung in der Form elektrischer Ströme erfolgt[3]) [4]).

Die vorstehend mitgetheilten Beobachtungsresultate, ebenso aber die Ergebnisse, zu denen Burdon, Sanderson und Munk[5]) bei ihren Studien über das elektrische Verhalten der Blätter von Dionaea muscipula gelangten, sowie die Darstellungen Kunkel's im zweiten und dritten Paragraphen seiner citirten Abhandlung[6])

---

1) Vgl. Buff, Annl. d. Chm. und Pharm. 1854. B. 89, S. 80.

2) Vgl. Kunkel, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg. B. 2, S. 1.

3) Buff hat bereits auf Aehnliches hingewiesen.

4) Die physikalische Analogie zur Erklärung dieser elektrischen Ströme geben die Quincke'schen Diaphragmenströme ab.

5) Vgl. Munk, Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv f. Anatomie etc. 1876. H. 1 und 2.

6) Kunkel theilt im dritten Paragraphen die Resultate mit, zu denen er bei dem Studium des elektrischen Verhaltens der Mimosa pudica gelangt ist.

lassen schon keinen Zweifel darüber bestehen, dass an der Oberfläche und im Innern solcher Pflanzen, die normalen Vegetationsbedingungen in der freien Natur ausgesetzt sind, elektrische Spannungen und elektrische Ströme zu Stande kommen können. Kunkel weist übrigens auf Aehnliches hin, wenn er sagt (S. 17, vorletzter Absatz): „Die an Pflanzen beobachteten elektromotorischen Wirkungen sind durch Wasserströmungen veranlasst, die ich entweder durch das Anlegen von Elektroden erst hervorrufe, oder die durch active oder passive Bewegungen der Pflanzen bedingt sind."

Ueberdies machen sich in den Pflanzenzellen auch eine Reihe von physikalischen und chemischen Processen geltend, die unzweifelhaft zur Entstehung elektrischer Spannungen und Ströme Veranlassung geben, und wenngleich es sehr schwierig ist, die Existenz derselben auf experimentellem Wege zu constatiren, so kann ihr Vorhandensein nicht wohl geleugnet werden [1].

Es ist aber zu beachten, dass diese elektrischen Spannungen und Ströme in den Pflanzen nicht als das Primäre anzusehen sind, sondern dass dieselben stets erst in Folge gewisser physikalischer oder chemischer Processe hervorgerufen werden.

Man weiss, dass sich die häufig sehr bedeutenden elektrischen Differenzen zwischen der Luft und dem Boden in Form von Blitzschlägen durch Pflanzen ausgleichen können. Somit ist sicher, dass auch geringe elektrische Differenzen zwischen der Luft und Erde ihren Ausgleich durch die Gewächse finden werden. Ob die auf diesem Wege entstehenden elektrischen Ströme, die das Gewebe der Pflanzen fast immer durchsetzen dürften, da Luft und Boden meistens elektrische Gegensätze aufweisen, etwa von Vortheil für die Vegetation sind, ist noch nicht wissenschaftlich festgestellt worden, obgleich mancherlei bezügliche Versuche (auch mit Keimpflanzen) zur Beantwortung der Frage angestellt wurden [2]. Dagegen ist sicher, dass starke elektrische Ströme (constante Ströme sowie Inductionsströme) z. B. die Bewegung des Plasma

---

1) Velten (vgl. Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. zu Wien, 1876, B. 79, Octoberheft) ist sogar auf Grund seiner Untersuchungen zu der Ansicht gelangt, dass die Bewegungen des Plasma in elektrischen Strömen, die in der lebenden Zelle selbst erzeugt werden, zu suchen sei (?).

2) Man vgl. Jngen-Houss, Versuche mit Pflanzen, deutsch v. Scherer, Th. 3, S. 117; A. v. Humbold, Aphorismen aus d. chem. Physiologie d. Pflanzen, deutsch v. Fischer, S. 77; Treviranus, Physiologie der Gewächse, Thl. 2, S. 709; Fleischer, Beiträge zur Lehre von d. Keimen d. Samen, S. 33.

in Pflanzenzellen aufhören machen, während dieselbe unter dem Einflusse schwächerer elektrischer Ströme nur verlangsamt wird etc. etc. [1]).

Beschleunigend sollen auf den Keimungsprocess vieler Samen einwirken: Schwefelblumen, nicht zu concentrirte Lösungen von Schwefelsäure, Phosphorsäure, Kalkhydrat etc. Indessen sind die vorliegenden Angaben von keinem erheblichen Werth.

Viele Stoffe, concentrirtere Salzsäure und Schwefelsäure, Oxalsäure, Gerbsäure, kohlensaures Ammoniak, Chlornatrium [2]), schwefelsaures Kupferoxyd [3]), Quecksilberchlorid, ätherische Oele etc., wirken entschieden mehr oder minder giftig oder gar tödtlich auf die Samen ein. Bei genauerem Studium der Verhältnisse muss aber mehr, als es bisher geschehen, Rücksicht auf die Samenspecies, mit denen man experimentirt, genommen werden, und ferner ist es wichtig, genau zu bestimmen, in welchen Quantitäten und wie lange Zeit hindurch die einzelnen Substanzen auf bestimmte Samenmengen einwirken etc. etc.

Die Ursache der mehr oder weniger nachtheiligen Wirkung mancher Stoffe auf Samen ist häufig leicht zu ermitteln. Concentrirtere Schwefelsäure ruft z. B. sehr starke Quellung der organisirten Pflanzengebilde hervor. Ganz concentrirte Schwefelsäure zerstört organische Stoffe unter Wasserentziehung völlig. Metallsalze (Kupfer- oder Quecksilbersalze) geben zur Entstehung von Metallverbindungen der Eiweissstoffe Veranlassung. Häufig ist es dagegen sehr schwierig, den Grund für die nachtheilige Wir-

---

1) Vgl. M. Schultze: Das Protoplasma d. Rhizopoden und der Pflanzenzellen, Leipzig, 1863, S. 43; Kühne, Untersuchungen über d. Protoplasma, Leipzig, 1864, S. 94 und Velten, Sitzungsber. d. Akdm. d. Wiss. in Wien, 1876, B. 73, Aprilheft.

2) Nach meinen Beobachtungen (vgl. Wollny's Forschungen auf d. Gebiete d. Agriculturphysik, B. 2, H. 1) wirkt 2 procentige Kochsalzlösung, wenn sie sich 24 Stunden lang mit Erbsen in Berührung befindet, tödtlich auf die Samen ein. Das Verhalten der Samen dem Chlornatrium gegenüber ist für die Beurtheilung der Frage nach der Bedeutung des Meerwassers für die Translocation der Samen von besonderer Wichtigkeit. Man vgl. Thuret, Botan. Jahresbericht, herausgegeben v. Just, 1873, S. 258.

3) Obgleich schwefelsaures Kupferoxyd schädlich auf Samen einwirkt, kann dasselbe mit Vortheil zur Tödtung der den Samen häufig anhängenden Brandsporen benutzt werden, und jenes Salz findet in der landwirthschaftlichen Praxis deshalb häufige Anwendung. Vgl. Specielleres über die bezüglichen interessanten Verhältnisse bei Nobbe, Handbuch d. Samenkunde, S. 273.

kung dieses oder jenes Stoffes auf Pflanzenzellen anzugeben. So fand Nobbe[1]), dass ätherische Oele den Embryo der Samen tödten können, und nach Nägeli[2]) ist die erwähnte toxicologische Wirkung der genannten organischen Stoffe Folge einer Contactwirkung derselben auf das lebendige Plasma.

Mit Rücksicht auf den Einfluss, den verschiedene Substanzen auf die Samen ausüben, ist zu bemerken, dass die bezüglichen Fragen bereits sehr oft Gegenstand mehr oder minder eingehender Untersuchungen gewesen sind. Dabei hat man aber, wie die Durchsicht der Literatur zeigt, im Allgemeinen sehr mangelhafte Methoden in Anwendung gebracht, und in Folge dessen sind die bis jetzt gewonnenen Resultate von nur geringem physiologischen Werth. Ueberdies hat man bisher kaum Rücksicht auf die gewiss recht interessante Frage genommen, weshalb ein Körper in dieser, ein anderer in jener Weise auf die Samen einwirkt. Die vorstehenden Bemerkungen werden es rechtfertigen, wenn ich mich bei der Behandlung derjenigen Verhältnisse, welche ich hier im Sinne habe, sehr kurz fasse, und dies kann zumal geschehen, da Nobbe die Hauptresultate, zu denen man bei dem Studium des Einflusses verschiedener Substanzen auf die Samen gelangt ist, in seinem Handbuche der Samenkunde ausführlich zusammengestellt hat.

Man hat häufig geprüft, ob die Keimungsenergie der Samen durch die Einwirkung bestimmter Substanzen auf die Samen gesteigert werden könne, und in der That ist die Frage, welche zu solchen Untersuchungen Veranlassung gegeben, als eine berechtigte anzusehen. Es ist bekannt, dass viele Samen sehr schwer quellbar sind; daraus folgt unmittelbar, dass Körper, welche die Testa erweichen, das Eindringen des Wassers in die Samen erleichtern, aber selbst keine nachtheiligen Wirkungen auf den Embryo geltend machen, die Keimungsenergie der Samen steigern müssen. Ueberdies mögen auch Körper existiren, welche an sich auf den Verlauf der Auflösungsprocesse vorhandener Reservestoffe oder auf den Verlauf der Dissociationsvorgänge der Lebenseinheiten des Plasma beschleunigend einwirken, und in Folge dessen einen günstigen Einfluss auf die Keimungsenergie der Samen ausüben. Auch alte Samen, die unter gewöhnlichen Umständen nicht mehr keimen, sollen durch bestimmte Stoffe wieder zur Keimung angeregt werden. Ich bin der Ansicht, dass todte Embryonen noch niemals

1) Vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 21, S. 449.
2) Vgl. Nägeli, Theorie d. Gährung. 1879. S. 85.

aufs Neue in den lebendigen Zustand zurückversetzt worden sind, und die erwähnten Beobachtungen lassen sich, wenn anders dieselben richtig sind, nur so erklären, dass jene alten Samen, weil ihnen eine nur noch sehr geringe Keimungsenergie eigenthümlich war, unter gewöhnlichen Umständen bereits in Folge von Fäulnissprocessen etc. zu Grunde gingen, bevor ihre Keimtheile sichtbar werden konnten, während die zur Beschleunigung des Keimungsprocesses angewandten Mittel das Zugrundegehen verhinderten, indem sie die Keimungsenergie steigerten und vielleicht gleichzeitig antiseptisch wirkten.

Neunter Hauptabschnitt.

Die Biologie der Keimpflanzen.

Erstes Capitel.

Allgemeine biologische Verhältnisse.

Die bereits zu Anfang dieses Jahrhunderts namentlich von Lamarck und Geoffroy Saint Hilaire vertheidigte Descendenz- und Transmutationshypothese ist bekanntermassen erst durch Charles Darwin zu fast allgemeiner Anerkennung gelangt. Dieser geniale Naturforscher hat der Lehre von der Entstehung der Arten erst durch seine Selectionshypothese ein sicheres Fundament verliehen, und sich bemüht, seine Anschauungen unter Heranziehung eines reichen wissenschaftlichen Materials zu begründen. Variabilität der Pflanzen- und Thierformen, Vererbung und Anpassung, sowie der in der Natur herrschende Kampf der Organismen ums Dasein, das sind die Momente, auf welche sich Darwin's Lehre von der natürlichen Züchtung wesentlich stützt.

Die Principien der Selectionshypothese, die hier als bekannt vorausgesetzt werden müssen, sind für die gesammte Naturwissenschaft von der weittragendsten Bedeutung geworden. Es ist sonach nur natürlich, wenn wir gewisse Erscheinungen, die sich dem Beobachter bei aufmerksamer Betrachtung des Keimungsprocesses darstellen, im Lichte der Lehre Darwin's specieller ins Auge fassen. Es muss aber von vornherein bemerkt werden, dass wir uns bei den nachfolgenden Darstellungen, um den Rahmen dieses Buches nicht zu überschreiten, eine erhebliche Beschränkung auferlegen müssen, so verlockend es auch immer erscheinen möchte, ferner liegende Verhältnisse mit in den Kreis der Betrachtung hereinzuziehen.

Der den Keimungsbedingungen ausgesetzte ruhende Same ist das Gebilde, von dem wir ausgehen müssen. Wir haben zu untersuchen, in welcher Weise die Grösse der Samen, ihr Gehalt an Reserve-

stoffen, die Beschaffenheit der einzelnen Theile der Samen etc. die Entwickelung der zarten Keimpflanze beeinflussen, und es kommt ferner darauf an, die gewonnenen Resultate von gewissen allgemeineren Gesichtspunkten aus zu beleuchten. Nur andeutungsweise können Momente, die sich z. B. auf die Verbreitung der Samen, sowie auf die Entwickelung der aus den Keimpflanzen hervorgehenden erstarkenden Pflanzen beziehen, berührt werden, denn es ist eben ausschliesslich der Keimungsprocess, welcher uns hier interessirt [1]).

Die Pflanzen fructificiren nicht immer an denjenigen Orten, an welchen die denkbar günstigsten Bedingungen für ihre Entwickelung gegeben sind. Sonach ist es von Bedeutung, dass viele Früchte und Samen eine Organisation besitzen, durch welche ihre Verbreitung in grösserem oder geringerem Grade befördert werden kann. Wir haben bereits an einer andern Stelle hervorgehoben, dass in dieser Beziehung die Flugapparate vieler Früchte und Samen besonderes Interesse verdienen. Durch Vermittelung des Wassers erfolgt ebenfalls oft eine Verbreitung von Früchten und Samen, und namentlich ist dies Moment für nicht aufspringende Früchte, deren äussere Gewebemasse dem Einfluss des flüssigen Mediums einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen, von Wichtigkeit. So ist es bekannt, dass die Cocosnüsse häufig durch Meeresströmungen weit von ihrer Heimath entfernt werden. Auch die Thiere tragen in durchaus nicht unwesentlicher Weise zur Verbreitung der Samen bei.

Wenn sich eine Pflanze unter durchaus normalen Lebensbedingungen entwickelt, so erscheint es allerdings für die Samen von Vortheil, wenn sie unter denselben Verhältnissen, denen die Mutterpflanze ausgesetzt war, zum Keimen gelangen; indessen es bedarf der Erwähnung, dass es dennoch nur von Nutzen sein kann, wenn die Samen ihre Entwickelung wenigstens in einiger Entfernung von einander beginnen, damit die einzelnen Individuen der heranwachsenden Pflanzen keinen zu harten Kampf ums Dasein zu bestehen haben [2]). Das Aufspringen der Früchte ist in vielen Fällen ein

---

1) Verschiedene Momente, die hier in Berücksichtigung zu ziehen sind, haben wir bereits eingehender besprochen und werden auf dieselben deshalb nur in aller Kürze zurückkommen.

2) Es sei hier darauf hingewiesen, dass bekanntermassen der Kampf ums Dasein am heftigsten hervortritt, wenn Individuen einer Art mit einander in Concur-

wirksames Mittel, um eine gehörige Vertheilung der Samen herbeizuführen, denn dasselbe erfolgt häufig mit solcher Gewalt, dass die Samen weit von ihrer Mutterpflanze fortgeschleudert werden [1]). Den Mechanismus des Aufspringens der Früchte hat Steinbrinck [2]) neuerdings zum Gegenstand eingehenderer Untersuchungen gemacht, und er ist dabei zu dem Resultate gekommen, dass jene interessante Erscheinung in innigster Beziehung zu dem anatomischen Bau der Pericarpien steht, indem dieser das Zustandekommen von Spannungen bei dem Austrocknen der Früchte, durch welche das Aufspringen derselben eben erfolgt, ermöglicht [3]).

Mit Rücksicht auf die im Vorstehenden geltend gemachten Momente und mit Rücksicht auf noch einige andere Verhältnisse verdienen das specifische, sowie das absolute Gewicht der Früchte und Samen einige Beachtung. Es ist selbstverständlich, dass nicht nur die Qualität und Quantität derjenigen Stoffe, welche sich an der Zusammensetzung der Früchte und Samen betheiligen, von Einfluss auf das specifische Gewicht derselben sind, sondern dass sich dieses ebenfalls in erheblichem Grade von den Structurverhältnissen der Objecte abhängig erweisen muss. Dies wird sofort klar, wenn man bedenkt, dass manche Früchte und Samen geringere, andere dagegen reichlichere Luftmengen einschliessen.

---

renz gerathen. Man vgl. Darwin, Entstehung der Arten, deutsch von Carus. Vierte Auflage. 1870. S. 89.

1) Natürlich haben die Früchte nicht nur den Zweck, durch ihr Aufspringen eine Vertheilung der Samen herbeizuführen. Viele Früchte springen ja überhaupt nicht auf. Das Pericarp schützt den Samen bereits während seiner Entwickelung und ebenfalls noch nach Vollendung derselben. Die Frucht ist ferner in sehr vielen Fällen von grosser Bedeutung für eine weitere Verbreitung der Samen etc. Wenn die Früchte nicht aufspringen, so ist es für den Embryo im Samen oft nicht leicht, ans Tageslicht durchzudringen. Solches ist z. B. bei den Nüssen der Fall; hier werden wohl, um den Samen frei zu legen, durch Quellungsprocesse bedeutende Druckkräfte hervorgerufen, welche das Pericarp zersprengen. In anderen Fällen stehen der Freilegung der Samen keine besonderen Schwierigkeiten entgegen. Um ein concretes Beispiel anzuführen, verweisen wir hier darauf, dass die weissen Beeren des auf Bäumen schmarotzenden Viscum album namentlich von der Misteldrossel verzehrt werden, und dass die Samen nun wieder auf Bäume gelangen können, indem die Vögel dieselben vom Schnabel abstreifen oder mit ihren Excrementen von sich geben.

2) Vgl. Steinbrinck: Untersuchungen über die anatomischen Grundlagen des Aufspringens der Früchte. Inaug.-Dissert. Bonn, 1873.

3) Steinbrinck citirt die ältere Literatur über den von ihm behandelten Gegenstand in seiner Abhandlung ausführlicher.

In Nobbe's Handbuche findet man Zusammenstellungen über das specifische Gewicht vieler Früchte und Samen, und ich entnehme diesen Mittheilungen die folgenden Angaben [1]):

Specifisches Gewicht der Früchte resp. Samen von [2]):

Abies pectinata (entflügelt)	0.833
Aconitum Lycoctonum	0.840
Agrostemma githago	1.233
Allium inodorum	1.164
Amygdalus communis	1.033
Anthemis tinctoria	0.990
Avena sativa	1.345
Betula alba	0.588
Brassica Napus oleifera	1.134
Bupleurum rotundifolium	1.365
Canna indica	1.240
Carum Carvi	1.156
Cynoglossum officinale	0.904
Holcus lanatus (bespelzt)	0.301
Linum usitatissimum	1.163
Phaseolus communis	1.298
Pinus sylvestris	0.807
Pisum sativum	1.355
Quercus robur (ohne Cupula)	0.969
Zea Mays	1.147.

Aus diesen Angaben und weiteren, die in Nobbe's Handbuch zu vergleichen sind, geht hervor, dass die amylumreichen Samen das höchste specifische Gewicht besitzen. Das specifische Gewicht der Oelsamen ist wenig verschieden von demjenigen des Wassers. Baumfrüchte sind meistens specifisch leicht, ein Moment, welches in sofern von Bedeutung ist, als dadurch ihre Flugfähigkeit erleichtert wird. Die Früchte vieler Gräser sowie Compositen besitzen ein sehr geringes, diejenigen der Wasserpflanzen dagegen oft ein hohes specifisches Gewicht [3]).

---

1) Vgl. Nobbe, Handbuch der Samenkunde. S. 315.

2) Die Methoden, welche man zur Bestimmung des specifischen Gewichts der Früchte und Samen in Anwendung gebracht hat, lassen zwar manches zu wünschen übrig, indessen sind die folgenden Zahlen wohl dazu im Stande, uns im Allgemeinen über die in Rede stehenden Verhältnisse zu orientiren.

3) Es sei hier noch darauf hingewiesen, dass die Grenzen, innerhalb welcher das specifische Gewicht einer und derselben Samenart schwankt, häufig ziemlich weite sind.

Das absolute Gewicht vieler Früchte und Samen ist von Nobbe bestimmt worden[1]). Den umfänglichen Zusammenstellungen des genannten Forschers entnehmen wir einige Angaben und bemerken, „dass von jeder Samenprobe, nachdem dieselbe von ihren Bemengungen befreit worden, 1000 Körner ein oder mehrere Male abgezählt wurden. Samen mit lockerem Flügel, wie diejenigen der Abietinen, sind zuvor vollständig abgeflügelt; nur die Tannensamen wurden in dem Zustande zur Wage gebracht, wie sie mit Flügelresten behaftet im Handel vertrieben werden. Von Beta wurde der Fruchtknäuel als Einheit betrachtet, von Gräsern die Scheinfrucht des Handels. Theilfrüchte (Umbelliferen, Acer, Valerianella etc.) sind sorgfältig getrennt, oder die Doppelfrucht für zwei gezählt.“

Frucht- und Samenarten.	Zahl der untersuchten Proben.	Mittleres Gewicht. eines Korns in Mgrm.
a. Landwirthschaftliche Culturpflanzen.		
Agrostis vulgaris	3	0.059 [2])
Anthoxanthum odoratum	10	0.492
Anthyllis vulneraria	8	2.456
Avena sativa	84	28.777
Beta vulgaris	39	21.977
Brassica Napus oleifera	28	4.956
Camelina sativa	5	0.899
Glyceria spectabilis	7	0.354
Lotus corniculatus	6	0.752
Lupinus luteus	10	132.680
Pisum sativum	43	185.795
Secale cereale	119	23.326
Solanum tuberosum	3	0.568
Trifolium pratense	355	1.599
Zea Mays	22	282.685
b. Gemüse- und Küchenkräuter, Droguen.		
Allium Cepa	7	3.521
Anethum graveolens	13	1.534
Anthriscus cerefolium	3	2.074
Borago officinalis	3	14.140

1) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 499.

2) Die Grenzen, innerhalb welcher das absolute Gewicht einer und derselben Samenart schwankt, sind oft sehr weite. So z. B. fand ich Erbsensamen, die einzeln im lufttrockenen Zustande über 0.5 Grm. wogen, andere dagegen, welche ein absolutes Gewicht von 0.15 Grm. zeigten.

Frucht- und Samenarten.	Zahl der untersuchten Proben.	Mittleres Gewicht eines Korns in Mgrm.
Cichorium intybus	3	1.342
Melissa officinalis	3	0.556
Papaver somniferum	3	0.425
Rosmarinus officinalis	3	1.085
Sinapis alba	3	4.441
Valerianella olitoria	4	1.099
c. Blumensamen.		
Aconitum Lycoctonum	3	3.246
Aquilegia vulgaris	5	1.703
Gentiana acaulis	4	0.409
Nigella sativa	3	2.605
Petunia violacea	4	0.074
Reseda odorata	4	0.846
d. Holzgewächse.		
Abies pectinata	7	34.314
Alnus incana	7	0.682
Betula alba	6	0.132
Crataegus oxyacantha	5	220.172
Fagus sylvatica	4	136.381
Larix europaea	9	5.270
Pinus sylvestris	11	6.189
Tilia grandifolia	3	98.750

Es ist eine Thatsache, der wir später noch unsere specielle Aufmerksamkeit zu widmen haben, dass ein grösserer Reichthum eines Samen an Reservestoffen der jungen Pflanze bei ihrer Entwickelung zu erheblichem Vortheil gereicht. Trotzdem findet man, dass die *meisten* Früchte und Samen verhältnissmässig klein sind und ein geringes absolutes Gewicht besitzen. Es möchte auf den ersten Blick scheinen, als ob wir es hier mit einem für die Vermehrung der Pflanzen durchaus unzweckmässigen Verhältnisse zu thun hätten; indessen es muss von vornherein betont werden, dass dem durchaus nicht so ist.

Die Gewächse haben nicht nur dafür Sorge zu tragen, dass dem Embryo im Samen bei seiner Entwickelung ein reichliches Quantum an Reservestoffen zur Disposition steht, sondern es kommt ferner häufig darauf an, die Samen in einem Zustande, der ihre Verbreitung erleichtert, zu erzeugen. Kleine Samen können aber entschieden besser als grosse translocirt werden. Sehr wichtig ist ferner ein anderes Moment, welches hier in Betracht zu ziehen ist.

Es ist nämlich einleuchtend, dass kleinsamige Gewächse im Allgemeinen eine bedeutendere Anzahl von Samen als Pflanzen mit grossen Samen erzeugen können, und die ersteren haben sich damit ein vorzügliches Mittel erworben, um ihre Fortexistenz zu sichern. Jeder Same, sowie jede Keimpflanze sind unzähligen Gefahren ausgesetzt, indem sie nur zu häufig ungünstigen Boden- und Witterungsverhältnissen preisgegeben sind, von Thieren zerstört oder vertilgt, und von anderen Pflanzen im Kampfe ums Dasein besiegt werden. Es ist aber offenbar, dass eine Pflanzenspecies durch die Production vieler Samen in den Stand gesetzt wird, selbst sehr bedeutenden Gefahren gegenüber das Feld zu behaupten.

Und in der That, die Samenmenge, welche manche Pflanzen produciren, ist eine ungeheuere. Nobbe[1]) theilt darüber auf Grund eigener Beobachtungen z. B. die folgenden Angaben mit:

Ein Exemplar von Senecio vernalis lieferte nach der Ueberwinterung 1873 273 Köpfchen; jedes zu durchschnittlich 145, d. h. in Summa 39585 reife Früchte.

An einem kräftigen Individuum des canadischen Berufskrautes wurden 2263 fruchtreife Körbchen gezählt, deren jedes zu 50 Samen angenommen (es wurden auch 60 bis 70 in einem Körbchen gezählt) einer Samenzahl von 110000 entspricht.

Die Samenmenge, welche je ein Individuum verschiedener Gewächse zu produciren vermag, ist ferner von Schertler[2]) genauer festgestellt worden und ebenso hat Buckland im 16. Bande des Journl. of the Roy. Soc. über denselben Gegenstand weitere Angaben veröffentlicht. Ein Individuum der folgenden Pflanzen hatte producirt:

	Blüthen.	Samen, respect. Früchte.
Senecio vulgaris	130	6500
Stellaria media	50	500
Agrostemma Githago	7	2590
Lychnis diurna	—	25137
Papaver rhoeas	100	50000
Sinapis arvensis	400	4000
„ nigra	—	1200
Galium tricorne	—	200
„ aparine	—	1100
Sonchus arvensis	190	19000

1) Vgl. Nobbe, Handbuch der Samenkunde. S. 480.
2) Vgl. Schertler, Jahresber. d. Agriculturchemie f. 1878. S. 220.

	Blüthen.	Samen, respect. Früchte.
Carduus nutans	—	3750
Aethusa Cynapium	—	600
Ervum tetraspermum	—	180
Daucus Carota	—	1200
Pastinaca sativa	—	1200

Nach G. Haberlandt[1]) hatten zwei kräftig entwickelte Exemplare von Orobanche ramosa mit zusammen 24 Verzweigungen 191 Kapseln ausgebildet, wovon jede durchschnittlich 691 Samen enthielt. Es entfallen daher auf eine Pflanze 65990 Samen. Das Gewicht von einem Tausend derselben betrug nahezu 0.004 Grm. Auf 1 Grm. kommen also ihrer 250000[2]).

Die Samenproduction vieler Pflanzen ist also eine so enorme, dass selbst dann, wenn die bei weitem grösste Menge der Samen zu Grunde geht, die Fortexistenz und Verbreitung der Gewächse durchaus nicht gefährdet oder beeinträchtigt werden. Die Natur benutzt übrigens häufig das Mittel einer massenhaften Production, um ihre Zwecke zu erreichen. Bekanntermassen erzeugen die Coniferen z. B. eine ungeheuere Menge Pollenkörner, von denen aber nur eine minimale Anzahl wirklich zur Befruchtung verwandt wird. Die massenhafte Pollenproduction ist aber erforderlich, damit die Befruchtung, deren Zustandekommen von so vielen Zufälligkeiten abhängig ist, überhaupt in ausgedehnter Weise möglich wird.

Ueber den Nutzen, welchen die Entwickelung einer so grossen Anzahl von Samen für die Pflanzen mit sich führen muss, kann man sich eine allgemeine Vorstellung verschaffen, wenn man bedenkt, dass stets nur eine verhältnissmässig geringe Anzahl der producirten Samen im Stande sein wird, normale Keimpflanzen zu liefern. Viele Samen gehen unter den nachtheiligen Einflüssen der Feuchtigkeit und der Kälte zu Grunde; ungeheure Samenquantitäten werden von Thieren zerstört oder verzehrt, und von

1) Vgl. G. Haberlandt: Die Schutzeinrichtungen in der Entwickelung der Keimpflanze. Wien, 1877. S. 43.

2) Von Interesse dürfte die Bemerkung sein, dass, wie ich aus einer Zeitungsnotiz ersehe, vor einigen Jahren auf einem Versuchsfelde des landwirthschaftlichen Instituts der Universität Leipzig eine Rapspflanze, die 2029 Schoten angesetzt hatte, gefunden wurde. Rechnet man nur 20 Körner auf eine Schote, so würde die eine Pflanze, wenn die Samen sämmtlich zur Entwickelung gelangt wären, über 40000 Körner geliefert haben.

den diesen Gefahren glücklich entronnenen Samen erweist sich noch ein erheblicher Theil als keimungsunfähig. Dies letztere Moment muss hier einer etwas genaueren Betrachtung unterzogen werden, trotzdem es nicht so leicht ist, wie es auf den ersten Blick erscheinen mag, genaue Werthe über den Gehalt einer Samenprobe an keimfähigen und keimungsunfähigen Individuen festzustellen.

Von Nobbe rühren wohl die besten Untersuchungen über die Keimfähigkeit der Samen her. Den umfänglichen Zusammenstellungen in dem Handbuch der Samenkunde entnehmen wir hier zunächst einige Angaben [1]):

Samen- oder Fruchtart.	Zahl der untersuchten Proben [2]).	Von 100 Körnern sind gekeimt		
		im Durchschnitt.	höchstens.	mindestens
Agrostis vulgaris	1	21	21	21
Alopecurus pratensis	21	5	17	1
Hordeum vulgare	68	88	100	32
Triticum vulgare	94	95	100	79
Abies pectinata	14	40	88	0
Pinus sylvestris	9	6	25	0
Ulmus campestris	5	1	4	0
Medicago sativa	50	76	97	23
Onobrychis sativa	33	50	89	0
Pisum sativum	43	92	100	14
Trifolium pratense	365	82	99	7
Vicia Faba	7	92	100	82
Brassica Napus oleifera	31	91	100	8
Solanum tuberosum	2	73	78	67
Anemone chinensis	2	7	8	5

Aus diesen wenigen Angaben lässt sich bereits mit Sicherheit schliessen, dass in einer gegebenen Samenmenge oft viele Samenindividuen vorhanden sind, die selbst unter solchen Bedingungen, welche für das Zustandekommen der Keimung als sehr günstige zu bezeichnen sind, nicht zur Entwickelung gelangen. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Keimungsversuche nicht sehr lange Zeit hindurch fortgesetzt worden sind, und gewiss noch manche Samen — wären die Beobachtungen weiter ausgedehnt — zur Entwickelung gekommen sein würden. Aber Nobbe hat auch diesem Anspruche durch die Ausführung weiterer Untersuchungen Rechnung zu tragen gesucht [3]).

1) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 516.

2) Nobbe hat bei der Ausführung seiner Untersuchungen grosses Gewicht darauf gelegt, dass lediglich normal aussehende Samen zu den Beobachtungen verwandt wurden.

3) Vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 20. S. 71.

Am 13. December 1874 legte Nobbe je 400 Individuen in demselben Jahre geernteter Samen resp. Früchte von 29 Pflanzenarten in Wasser, um die Samen nach 24 Stunden theils in Fliesspapier, theils in Sand zu übertragen. Das Verhalten der Samen ist zwei Jahre lang beobachtet worden. Einige Resultate der in Rede stehenden Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Von 400 Samen keimten im Verlauf von 724 Tagen

	Summa.	Procent.
Agrostemma Githago	297	74
Atropa Belladonna	22	5.5
Bellis perennis	128	32
Bromus secalinus	325	81
Cerastium triviale	386	96.5
Chenopodium album	164	41
Digitaria sanguinalis	5	1
Ornithogalum umbellatum	46	11.5
Polygonum persicaria	28	7
Thlaspi alpestre	338	84.5
„ arvense	17	4
Veronica hederaefolia	107	27

Sehr interessant ist die Thatsache, dass die Keimung der Samen innerhalb der 724 Versuchstage zu sehr verschiedenen Zeiten erfolgte. Von je 400 der ausgelegten Samen keimten z. B. in

	3 Tagen	8 Tagen	15 Tagen	40 Tagen	70 Tagen	200 Tagen	640 Tagen	724 Tagen
Agrostemma Githago	48	240	8	—	—	—	—	—
Atropa Belladonna	—	—	—	4	—	8	—	—
Bellis perennis	13	13	59	—	8	—	—	—
Chenopodium album	9	112	16	1	2	1	10	1
Ornithogalum umbellatum	—	—	7	—	—	3	5	24 [1]).

Die Resultate verschiedener Untersuchungen zeigen übereinstimmend, dass viele Samenindividuen, die während langer Zeiten unter Wasser verweilen oder gänzlich normalen Keimungsbedingungen ausgesetzt werden, nicht zu Grunde gehen, sondern ihre Entwickelungsfähigkeit behalten. Wir haben dieser Thatsache bereits bei Gelegenheit unserer Erörterungen über den Quellungsprocess im Zusammenhange mit anderen Verhältnissen unsere Aufmerksamkeit zugewandt; indessen es leuchtet wohl von vornherein ein, dass dieselbe hier abermals Erwähnung finden muss.

1) Wir haben hier nur einige Resultate der Untersuchungen Nobbe's mitgetheilt, die aber genügen, um auf die für uns wichtigen Verhältnisse ein helles Licht zu werfen.

Nobbe hebt in seiner citirten Abhandlung hervor, dass zwar nach Verlauf der 724 Tage ein Theil der nicht gekeimten Samen in Fäulniss übergegangen war, dass aber andererseits ein sehr beträchtliches Quantum der rückständigen Untersuchungsobjecte noch vollkommen gesund erschien. Somit darf wohl mit Sicherheit angenommen werden, dass eine gewisse Menge der Samen selbst nach 724 Tagen ihre Lebensfähigkeit noch nicht eingebüsst hatten. Bei der genaueren Prüfung dieser Samen zeigte sich, dass ein Theil derselben viele Monate lang ohne zu faulen geruht hatte, obgleich die Untersuchungsobjecte mit Wasser durchtränkt waren [1]). Ein anderer Theil der Samen erwies sich noch als durchaus ungequollen, ein Verhältniss, dessen Ursachen wir bereits früher eingehender erörtert haben.

Manche Samenkörner, z. B. diejenigen der Eiche, Kirsche, Mandel sowie verschiedener Palmenarten, ruhen regelmässig ein oder zwei Vegetationsperioden, bevor sie keimen [2]).

Zu den Samen, welche erst nach längerer Ruhe keimen, sollen nach Tittmann [3]) namentlich auch diejenigen von Veronica hederaefolia gehören. Der genannte Beobachter hat die Samen zwei Jahre lang günstigen Keimungsbedingungen ausgesetzt, aber selbst nach Verlauf dieser Zeit war von einer Entwickelung des Embryo noch nichts zu bemerken. Nobbe [4]) fand dagegen, dass von je 200 Samen der Veronica hederaefolia, welche im November ihres Erntejahres theils in Fliesspapier, theils in feuchten Sand ausgesäet waren, bereits nach 8, resp. 16 Tagen eine erhebliche Anzahl keimte. Immerhin aber gehören die Samen der genannten Veronicaart zu den schwer keimenden [5]).

Es sind namentlich zwei Momente, die, wenn wir unsere letzten Darstellungen überblicken, unsere Aufmerksamkeit in besonders hohem Grade fesseln müssen. Einerseits ist es nämlich sehr wichtig, dass viele Gewächse eine sehr grosse Anzahl klei-

1) Die Thatsache, dass viele Samen, wenn die Reservestoffbehälter und der Embryo erhebliche Wassermengen enthalten, nicht in Fäulniss übergehen, sondern ihre Lebensfähigkeit lange Zeit hindurch bewahren, ist zur Zeit noch ganz räthselhaft für uns.

2) Auch diese Samen können, wie Nobbe in der citirten Abhandlung bemerkt, lange Zeit im angequollenen Zustande ruhen.

3) Vgl. Meyen: Neues System der Pflanzenphysiologie. 1838. B. 2. S. 316.

4) Vgl. Nobbe, Handbuch d. Samenkunde. S. 354.

5) Im Anschluss an das hier berührte Moment, wonach viele Individuen einer

ner Samen produciren, andererseits ist nochmals mit Nachdruck darauf hinzuweisen, dass viele Samen ungünstigen oder günstigen Keimungsbedingungen lange Zeit hindurch ausgesetzt bleiben können, ohne zu keimen, ohne aber auch ihre Lebensfähigkeit einzubüssen. Diese beiden letzten Verhältnisse stehen in innigster Beziehung zu einander, und gelangen erst dadurch zu einer Bedeutung für das Leben der Pflanzen.

Es kommt häufig genug in unseren Breiten vor, dass Samen schon im Herbst an warmen Tagen und bei genügendem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens keimen, und dass die jungen Pflänzchen dann bei Eintritt des Frostes zu Grunde gehen. Wie gefährlich müsste dies für die Existenz einer Pflanzenspecies sein, wenn die sämmtlichen Samen derselben sich in der soeben angedeuteten Weise verhielten, und wenn nicht ein gewisses Samenquantum vermöge der eigenthümlichen Beschaffenheit der Samen erst im Frühjahre zur Entwickelung gelangen würde!

In der Literatur über die hier in Rede stehenden Verhältnisse begegnet man häufig der Meinung, dass viele Samen vor der Keimung eine Ruheperiode durchmachen müssten. Legt man der thatsächlich bestehenden Abhängigkeit der Keimung von momentan wirksamen äusseren Bedingungen (Wärme, Feuchtigkeit,

---

gegebenen Samenquantität erst nach Verlauf langer Zeit zum Keimen gelangen, ist noch auf das Folgende hinzuweisen. Viele Samen, z. B. diejenigen mancher Gräser, der Kresse, der Brassicaarten, der Erbse etc., besitzen nämlich eine grosse Keimungsenergie, so dass der Embryo der meisten Individuen innerhalb kurzer Zeit unter geeigneten Umständen zur Entwickelung gelangt. Dabei zeigt sich oft, dass diejenigen Individuen, welche innerhalb weniger Tage nicht gekeimt haben, überhaupt nicht entwickelungsfähig sind, sondern zu Grunde gehen. Man hat nun versucht, festzustellen, eine wie lange Zeit bei solchen leicht keimenden Samen von dem Momente der Aussaat bis zum Sichtbarwerden der Keimtheile etc. verfliesst. (Vgl. De Candolle, Pflanzenphysiologie, 1835 deutsch von Röper, B. 2, S. 287 und Nobbe, Handbuch d. Samenkunde, S. 358). Die Resultate derartiger Untersuchungen sind aber leider kaum dazu angethan, uns zu allgemeineren Gesichtspunkten zu führen. Höchstens kann vielleicht darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Keimungsenergie vieler Gramineen-, Cruciferen- und Papilionaceensamen eine bedeutende, diejenige vieler Umbelliferen- und Coniferensamen dagegen eine geringe ist. Uebrigens muss bemerkt werden, dass man bis jetzt bei vergleichenden Untersuchungen die verschiedenen Samenarten im besten Falle ganz denselben Keimungsbedingungen aussetzte, ein Verfahren, das sicher von gewissen Gesichtspunkten aus als ein berechtigtes anzusehen ist. Dagegen würde es, so meine ich, ein höheres physiologisches Interesse besitzen, z. B. verschiedene Samenspecies unter dem Einflusse der Temperaturoptima für die Keimung, also unter dem Einflusse verschiedener, aber sich gewissermassen entsprechender Temperaturen, auf ihre Keimungsenergie zu prüfen.

Sauerstoffzutritt) eine zu hohe Bedeutung bei, so kann man leicht zu der Ansicht kommen, dass nur derjenige zur Annahme einer solchen Ruheperiode der Samen gelangen kann, der nicht im Stande ist, gewisse Beobachtungsergebnisse richtig zu deuten. Dagegen wird man zu einem anderen Resultate geführt werden müssen, wenn man bedenkt, dass der Verlauf der physiologischen Processe in der Pflanze nicht ausschliesslich von momentan wirkenden äusseren Verhältnissen abhängig ist, sondern dass derselbe oft in ganz hervorragender Weise durch Momente beeinflusst wird, die durch Anpassung erworben und durch Vererbung fixirt worden sind. Nur von einem solchen Standpunkte aus wird es möglich, gewisse Erscheinungen im Pflanzenleben in einem rechten Lichte zu sehen. Die Thatsachen, dass Sporen von Gefässkryptogamen längere Zeit ruhen, bevor sie zum Prothallium auswachsen, dass überwinternde Laubknospen erst im Frühjahr und nicht bereits an warmen Herbsttagen zur Entfaltung gelangen, dass Blüthenknospen in dem Jahre, in welchem sie angelegt werden, äusserst schwach, energisch dagegen erst im Jahre der Entfaltung wachsen [1]), dass sich im Saftausfluss aus Wurzelstümpfen eine von äusseren Bedingungen unabhängige Periodicität geltend macht [2]) etc. sind durchaus unverständlich, wenn man bei ihrer Betrachtung lediglich des unmittelbaren Einflusses äusserer Verhältnisse auf die Gewächse gedenkt.

Es ist zu betonen, dass viele Samen (Erbsen, Roggen-, Weizenkörner etc.) keiner Ruheperiode vor der Keimung bedürfen [3]); andere Samen dagegen scheinen eine solche Ruheperiode regelmässig durchzumachen. Hierher gehören, wie gesagt, die Samen der Eiche, Kirsche, Mandel etc., die längere Zeit hindurch im angequollenen Zustande verweilen, ohne zu keimen.

Eine sehr merkwürdige hier zu erwähnende Erscheinung lässt sich an den Samen von Eranthis hyemalis beobachten. G. Haberlandt [4]) hat reife Samen dieser Pflanze untersucht, aber es zeigte sich stets, dass der Embryo derselben noch nicht vollkommen entwickelt war. Die Ausbildung des Embryo erfolgt erst im

---

1) Vgl. über dies Verhältniss eine Abhandlung von Askenasy in der botan. Zeitung, 1877, N. 50—52.

2) Vgl. meine zweite Abhandlung über die Theorie des Wurzeldrucks in Preyer's Sammlung physiologischer Abhandlungen. B. 1. H. 8. S. 50.

3) Bei solchen Samen, die der eigenthümlichen Beschaffenheit ihrer Testa wegen das Wasser sehr langsam aufnehmen und deshalb erst nach Verlauf langer Zeit keimen, kann ebenfalls von einer Ruheperiode in unserem Sinne nicht die Rede sein.

4) Vgl. G. Haberlandt: Die Schutzeinrichtungen etc. S. 50.

Sommer und Herbst, während welcher Zeit die mit Wasser imbibirten Samen sich äusserlich nicht verändern und sich den Keimungsagentien gegenüber durchaus indifferent verhalten. Ist der Embryo zu völliger Entwickelung gelangt, so tritt die kalte Jahreszeit alsbald ein; das Wachsthum steht vollkommen still, um erst im Frühling aufs Neue zu beginnen [1]).

Uebrigens kommt es oft genug vor, dass Samen bereits im Sommer keimen, und die jungen Pflanzen durch die Winterkälte dennoch nicht ihre ganze Lebenskraft einbüssen. Haben sich die oberirdischen Pflanzentheile während der warmen Jahreszeit kräftig entwickelt, und gehen sie unter dem Einflusse des Frostes zu Grunde, so sind doch sehr häufig in den unterirdischen Theilen der Gewächse bereits genügende Reservestoffquantitäten aufgespeichert, um die erste Entwickelung von Stengeln und Blättern im kommenden Frühjahre zu ermöglichen. Mit dem Gesagten soll aber nicht ausgesprochen sein, dass die oberirdischen Pflanzentheile stets unter dem Einfluss niederer Temperaturen absterben. Wir haben vielmehr bereits früher betont, dass manche Pflanzen wenig oder gar nicht durch Frostwirkung leiden, und G. Haberlandt [2]) hat noch neuerdings constatiren können, dass Keimpflanzen sich unter Umständen dem Einflusse der Kälte gegenüber sehr widerstandsfähig erweisen.

Bei der Ausführung der Untersuchungen liess Haberlandt von jeder zur Verwendung gelangenden Samenspecies drei Partien von je 100 Individuen keimen. Jede Partie wurde um einen Tag später zwischen feuchte Flanellfleckchen gebracht, so dass am 4. Tage, an welchem die Untersuchungsobjecte in einen Kältemischungsapparat gelangten, Keimpflanzen im Alter von 3 und 2 Tagen, sowie 24 Stunden lang gequollene Samen zur Disposition standen. Die Temperatur des Versuchsraums während der ersten Versuchstage betrug 18—20° C. Eine vierte Samenpartie, die zu gleicher Zeit mit der ersten ausgelegt worden war, entwickelte sich während der drei Tage bei einer Temperatur von nur 8° C. Am 4. Tage morgens wurden die sämmtlichen Untersuchungsobjecte in den Kältemischungsapparat gebracht. Die Temperaturverminderung erfolgte ganz allmählich, bis die Temperatur des Raumes, in welchem sich die Samen und Keimpflanzen befanden,

---

1) Haberlandt giebt an, dass die Samen von Eranthis hyemalis unter allen Umständen (wohl nur im Freien) erst im Frühling keimen.

2) Vgl. G. Haberlandt: Die Schutzeinrichtungen. S. 47.

auf — 5° C. gesunken war. Sie wurde dann einige Stunden lang constant auf — 5° C. erhalten und sehr allmählich auf + 18—21° C. gesteigert. In der folgenden Tabelle ist die Anzahl der jetzt noch keimenden Samen und weiter wachsenden Keimpflanzen verzeichnet:

Samenart.	Alter der keimenden Samen.			
	3 Tage.	2 Tage.	1 Tag.	3 Tage.
	Keimungstemperatur 18—20° C.			Kmtp. 8° C.
Triticum vulgare . .	92	76	17	96
Secale cereale . . .	98	84	38	100
Zea Mays	0	3	24	0
Cannabis sativa . . .	15	41	81	83
Agrostemma Githago .	10	74	85	97
Trifolium pratense . .	7	26	78	82

Aus den vorstehenden Angaben ist zu ersehen, dass mit Ausnahme des Weizens und Roggens [1]) die Frostwirkung einen um so schädlicheren Einfluss auf die Keimpflänzchen ausgeübt hat, je älter dieselben waren. Sehr beachtenswerth ist die ausserordentlich grosse Widerstandsfähigkeit der bei niederer Temperatur (8° C.) gekeimten und dann der Frostwirkung ausgesetzten Keimpflanzen [2]). Die biologische Bedeutung des hier berührten Verhaltens vieler Keimpflanzen der Frostwirkung gegenüber liegt auf der Hand. Es darf aber nicht vergessen werden, an dieser Stelle noch darauf hinzuweisen, dass sich manche Samen durch ihre Schwerquellbarkeit ein vorzügliches Mittel erworben haben, um der Kälte zu widerstehen, denn es ist ja bekannt, dass sich lufttrockene Samen niederen Temperaturen gegenüber im höchsten Grade unempfindlich erweisen.

Wenn in unseren Breiten die Winterkälte für die Samen oft von bedeutsamem Nachtheil ist, so haben dieselben unter anderen Verhältnissen häufig unter zu grosser Dürre und Trockenheit zu

---

1) Gerste, mit der Haberlandt in anderen Versuchen experimentirte, verhielt sich dem Weizen und Roggen analog.

2) Zu einem ganz ähnlichen Resultate gelangte auch Fr. Haberlandt bei bezüglichen Untersuchungen. (Wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, B. 1, S. 246.) Derselbe fand, dass sich namentlich bei höherer Temperatur erwachsene Raps- und Erbsenkeimpflanzen dem Einflusse des Frostes gegenüber sehr empfindlich erweisen. Weizen- und Roggenkeimpflanzen verhalten sich der Frostwirkung gegenüber weit widerstandsfähiger.

leiden. Es ist bekannt, dass die Bodentemperatur in den Tropen, (namentlich die Temperatur des Bodens der Wüsten) unter Umständen eine sehr hohe sein kann [1]). Mögen die Samen auch in seltenen Fällen im ruhenden Zustande durch zu hohe Bodentemperaturen Beschädigungen erfahren, denn glücklicherweise zeigen sie sich in diesem Zustande höheren Temperaturen gegenüber sehr widerstandsfähig, so ist doch gewiss, dass sie in einem ausgetrockneten, heissen Boden nicht zur Keimung gelangen können.

Aber wenn in den Tropen nach der Periode der Dürre die Regenzeit eintritt, dann entfaltet sich die Vegetation mit überraschender Geschwindigkeit und als ein Verhältniss, welches dahin führen soll, das schlummernde Leben im Samen möglichst leicht zu wecken, darf wohl dieses angesehen werden, dass bei den Gräsern, also bei Pflanzen, die zumal als Steppenbewohner anzusehen sind, der Embryo nicht vom Endosperm umschlossen ist, sondern demselben nur seitlich anliegt [2]).

Wenn die Trockenheit das Keimen der Samen einerseits überhaupt nicht zulässt, so wirkt sie andererseits in vielen Fällen geradezu nachtheilig auf die Samen sowie auf die bereits bis zu einem gewissen Grade entwickelten Keimpflanzen ein.

Wenn Weidensamen nur sehr kurze Zeit hindurch (10—12 Tage) im trockenen Zustande aufbewahrt werden, so haben sie ihre Keimfähigkeit völlig eingebüsst. In der Natur vegetiren die meisten Salixspecies in normalster Weise an einem feuchten Standorte, und deshalb liegt kein Grund vor, den Samen in einem Zustande zu produciren, in welchem er im Stande wäre, sich dem Einflusse der Trockenheit gegenüber sehr resistent zu erweisen. Ganz anders verhält sich die Sache dagegen bei denjenigen Samen, welche von solchen Gewächsen, die auf einen mehr trockenen Standort angewiesen sind, producirt werden. Diese Samen sind den schädigenden Wirkungen der Trockenheit sehr häufig in der Natur ausgesetzt. Oft genug wird den bereits gequollenen Samen das Wasser wieder entzogen, oder die Dürre führt zu einer Austrocknung der bis zu einem gewissen Grade entwickelten Keimlinge. Es ist daher von erheblicher Bedeutung, dass sich viele Samen und Keimpflanzen im Kampfe ums Dasein Eigenschaften durch

---

1) Vgl. mein Lehrbuch d. Bodenkunde, 1876. S. 253 etc.

2) Beachtung verdienen in dem hier in Rede stehenden Zusammenhange einige Bemerkungen Grisebach's, vgl. die Vegetation d. Erde nach ihrer klimatischen Anordnung, B. 2, S. 119.

Anpassung erworben haben, vermöge welcher sie im Stande sind, den nachtheiligen Wirkungen der Trockenheit und namentlich auch Schädigungen, welche der vegetabilische Organismus thatsächlich durch ein häufiger wiederkehrendes Feuchtwerden und Austrocknen erfährt, einen energischen Widerstand entgegenzustellen [1]).

Solche Samen, die, wie es z. B. bei denjenigen des Leins und der Quitte der Fall ist, eine Testa besitzen, deren äussere Schichten einen ausserordentlichen Grad der Quellungsfähigkeit besitzen, werden bei dem Befeuchten in einen Schleim eingehüllt, der sehr reich an Wasser ist. Wenn jetzt Trockenheit auf die Samen einwirkt, so vermögen sie dennoch eine gewisse Zeit lang ihre Entwickelung fortzusetzen, da bei der Quellung ein beträchtlicher Wasservorrath angesammelt ist, der nunmehr zur Verwendung kommen kann. Ich habe einige Quittensamen sowie einige Weizenfrüchte von nahezu gleichem Gewicht 20 Stunden lang bei 15° C. quellen lassen. Die Untersuchungsobjecte wurden dann an die Luft gelegt, und als die Weizenkörner bereits fast völlig lufttrocken waren, enthielten die Quittensamen noch erhebliche Feuchtigkeitsmengen.

Was die Widerstandsfähigkeit der Samen und Keimpflanzen wiederholtem Austrocknen gegenüber anbelangt, so hat bereits Th. de Saussure [2]) Untersuchungen über diesen Gegenstand ausgeführt. Er führte seine Beobachtungen mit den Samen verschiedener Futterpflanzen aus, und es zeigte sich, dass die meisten derselben eine durch Austrocknen herbeigeführte Unterbrechung des Wachsthums des Embryo ganz gut vertragen.

Neuerdings hat C. Nowoczck [3]) eingehendere Beobachtungen über denselben Gegenstand unter Benutzung von Weizen, Gerste, Hafer, Mais, Raps, Rothklee und Erbsen angestellt. Die Samen wurden nach 24 und 48stündiger Quellungsdauer getrocknet [4]) und zwischen befeuchteten Flanellläppchen zum Keimen ausgelegt. Die gekeimten Samen wurden dann abermals bei 15—20° C. getrocknet und aufs Neue günstigen Keimungsbedingungen

---

1) Die Keimpflanzen trocknen selbstverständlich weit leichter als entwickeltere Pflanzen aus; deshalb ist es eben gerade so wichtig für die ersteren, dass sie nicht in dem Masse wie die letzteren in Folge der Wasserentziehung leiden.

2) Vgl. Saussure, Annl. d. scienc. nat., 1827. S. 86.

3) Vgl. Nowoczck in Haberlandt's wissenschaftl.-prakt. Unters. auf d. Gebiete d. Pflanzenbaues. B. 1. S. 122.

4) Das Trocknen ist stets so lange fortgesetzt worden, bis die Untersuchungsobjecte den lufttrockenen Zustand angenommen hatten.

ausgesetzt. Dies Verfahren wiederholte Nowoczck noch mehrfach, aber es muss noch bemerkt werden, dass das Austrocknen stets erst dann vorgenommen wurde, wenn die Keimtheile ihre Lebensfähigkeit durch ein lebhaftes Wachsthum documentirt hatten. Einige Ergebnisse der Beobachtungen sind in der folgenden kleinen Tabelle mitgetheilt:

Von je 100 Körnern keimten

	nach	1-	2-	3-	4-	5-	6-	7maligem	Austrocknen
Weizen	„	75	70	57	31	25	10	1 „	„
Hafer	„	90	83	77	62	40	27	8 „	„
Raps	„	85	55	27	17	1	—	— „	„
Erbsen	„	87	38	3	—	—	—	— „	„

Aus diesen Angaben geht mit Sicherheit hervor, dass verschiedene Keimpflanzen sich den Wirkungen des Austrocknens gegenüber durchaus nicht in derselben Weise verhalten. Weizen- und Haferpflänzchen erweisen sich als sehr widerstandsfähig, eine Beobachtung, deren Richtigkeit durch Untersuchungen von Marek [1]) bestätigt worden ist. Trocknen die Keimpflänzchen in der Natur auch mehrfach aus, so gehen sie dennoch nicht zu Grunde, sondern sie entwickeln sich, wenn ihnen neue Wasserquantitäten zugeführt werden, weiter. Aber dies muss besonders betont werden, worauf Marek grosses Gewicht legt, während Nowoczck dem Verhältnisse nicht genügende Beachtung schenkt, dass jede Keimpflanze durch das Austrocknen erheblich leidet, und sich unter geeigneten Verhältnissen niemals so kräftig weiter entwickelt wie eine Pflanze, der das Wasser nicht entzogen worden ist. Marek zeigt, dass Keimtheile in Folge des Austrocknens häufig gänzlich zu Grunde gehen, und dass erst neue gebildet werden müssen, wenn die Entwickelung der Pflanze fortschreiten soll [2]). Die Plumula besitzt eine grössere Widerstandsfähigkeit als das Würzel-

---

1) Vgl. Marek: Das Saatgut und dessen Einfluss auf Menge und Güte der Ernte. Wien, 1875. S. 168.

2) Geht die Keimwurzel verloren, so wird dieselbe häufig durch Adventivwurzeln, die aus der Basis der Stengelgebilde (hypocotyles Glied oder Internodien) hervortreten, ersetzt. Die Beschädigung der Plumula führt häufig die Ausbildung vorhandener Achselknospen herbei. Wurzelspitzen, die den Keimpflanzen verloren gegangen sind, können ebenfalls regenerirt werden. Es ist also ersichtlich, dass den Keimlingen ein grosses Reproductionsvermögen zukommt, ein Verhältniss, welches zumal deshalb eine hohe biologische Wichtigkeit besitzt, weil die Keimpflanzen ja in der Natur thatsächlich oft genug beschädigt werden.

chen; das letztere wird in Folge des Austrocknens weit leichter zerstört als die erstere.

Wichtig ist noch, dass nach Marek's Beobachtungen ältere Keimpflanzen in Folge eines einmaligen Austrocknens weit mehr leiden als jüngere. Der genannte Forscher bringt diese Thatsache in einen Zusammenhang mit dem geringeren Gehalt der älteren Keimpflanzen an Reservestoffen, und wenn ich auch zugebe, ja mit Nachdruck hervorhebe, dass ein solcher Zusammenhang der Verhältnisse existirt, so möchte ich dennoch darauf aufmerksam machen, dass Marek's Anschauung wohl einen etwas einseitigen Charakter tragen dürfte. Bedenken wir, dass verschiedene Theile einer und derselben Pflanze der Wirkung des Austrocknens einen sehr verschiedenartigen Widerstand entgegenstellen, und dass ferner sehr reservestoffreiche Pflanzen (Erbsen) erheblich unter dem Wasserverlust leiden, so können wir den Gedanken nicht von der Hand weisen, dass die älteren Keimpflanzen schon in Folge ihrer specifischen Natur nicht so geeignet wie jüngere Keimpflanzen sind, um den nachtheiligen Wirkungen des Austrocknens zu widerstehen.

Den Gefahren, welche Samen und Keimpflanzen durch Austrocknen preisgegeben sein können, stehen diejenigen gegenüber, welche durch das Vorhandensein einer zu reichlichen Wassermenge verursacht werden. Aber auch in diesem Kampfe ums Dasein unterliegen die Samen und Keimpflanzen nicht unbedingt.

Manche Samen besitzen, wie wir gesehen haben, ein niedrigeres specifisches Gewicht als das Wasser; gelangen sie also in dasselbe, so schwimmen sie zunächst, bis sie völlig vom Wasser durchdrungen sind, an der Oberfläche und können somit leicht durch die Wellen ans Land geworfen werden[1]). Aber auch Samen, welche specifisch schwerer als das Wasser sind, werden von lebhafter bewegten Gewässern, da sie häufig ein immerhin geringes absolutes Gewicht besitzen, sehr oft auf trocknen Boden gesetzt.

Ueberdies ist ja bekannt, dass viele Samen lange Zeit hindurch in Berührung mit Wasser verweilen können, ohne überhaupt

1) Dasselbe gilt für viele Früchte. So fand ich z. B., dass die Nüsse von Corylus Avellana oft 10 Tage lang an der Wasseroberfläche schwimmen und erst dann untersinken. Das Gewebe des Pericarps ist zwar specifisch schwerer als Wasser, aber die Nüsse schwimmen dennoch, weil sie sehr viel Luft enthalten und der Same specifisch leichter als Wasser ist, an der Oberfläche desselben.

zu quellen. Andere (Cirsium arvense, Ornithogalum umbellatum, Oxalis stricta, Papaver rhoeas, Thlaspi arvense etc.) können lange im mit Wasser durchtränkten Zustande verharren, ohne zu Grunde zu gehen [1]), und selbst solche Samen (Weizen, Gerste, Erbsen), welche eine relativ geringe Widerstandsfähigkeit den nachtheiligen Wirkungen der Feuchtigkeit gegenüber besitzen, gehen doch nicht immer zu Grunde, wenn sie Tage, ja selbst Wochen lang unter Wasser verweilen [2]). Ich habe Samen einer kleinen Erbsenvarietät 96 Stunden lang unter Wasser, welches sich in Ruhe befand, also unter sehr ungünstigen Verhältnissen, belassen. Die Samen wurden darauf normalen Vegetationsbedingungen ausgesetzt, und es zeigte sich, dass einzelne Individuen derselben jetzt noch keimten.

Feige [3]) giebt an, dass Weizensaaten, die 6 Wochen lang unter Wasser von 5° C. standen, vollkommen erhalten blieben. Roggen-, Luzerne- und Kleesaaten verhielten sich ähnlich [4]).

Interesse verdient mit Rücksicht auf die hier in Rede stehenden Verhältnisse das eigenthümliche Verhalten der Samen der Rhizophoren oder Mangrovebäume. Die Samen dieser die tropischen Küsten umsäumenden Gewächse keimen im Zusammenhange mit der Mutterpflanze und treiben ihre Wurzeln nach abwärts dem Wasserspiegel zu. „In einem weichen Boden, der täglich zweimal vom Meere hoch überfluthet wird, würde eine Keimung des Samen und Befestigung der Keimpflanze unmöglich sein; deshalb trennen sich die schotenförmig ausgestreckten und abwärts hängenden Früchte erst dann von ihrem Mutterstamme, wenn ein neuer Baum aus ihnen entstanden ist“ [5]).

Im Anschluss an die in diesem Capitel bereits berührten Verhältnisse möchte ich noch auf die sicher erhebliche biologische

---

1) Vgl. Nobbe, Versuchsstationen. B. 20. S. 80.

2) Vgl. Zöhl in Haberlandt's wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen etc. B. 1. S. 89. Zöhl setzte seine Untersuchungsobjecte dem Einflusse strömenden Wassers aus.

3) Vgl. über Feige's Angaben in Biedermann's Centralblatt f. Agriculturchemie, 6. Jahrgang. S. 76.

4) Feige giebt an, dass Saaten, die längere Zeit unter Wasser von höherer Temperatur standen, zu Grunde gingen.

5) Vgl. Grisebach: Die Vegetation der Erde etc. B. 2. S. 21.

Bedeutung besitzende Thatsache hinweisen, dass sehr viele Samen ausserordentlich lange Zeit im ruhenden Zustande verweilen können, ohne ihre Lebensfähigkeit einzubüssen. Allerdings verhalten sich die einzelnen Samenspecies in der hier in Rede stehenden Beziehung ausserordentlich verschiedenartig, denn die Lebensfähigkeit des Embryo mancher Samenarten scheint unter allen Umständen innerhalb sehr kurzer Zeit vernichtet zu werden [1]), während die Lebensfähigkeit des Embryo anderer Samen viele Jahre, ja Jahrhunderte lang erhalten bleibt.

Die Angaben des Grafen Sternberg [2]), dass altägyptischer Mumienweizen sich noch als keimfähig erwies und Pflanzen mit reifen Aehren lieferte, sind, wie sich herausgestellt hat, nicht richtig. Dagegen ist es wohl glaublich, dass Lefèbvre 17jährigen Rettigsamen und Voss 37 Jahr alten Schminkbohnensamen noch keimen sahen. Die Samen von Mimosa keimen, wie Gérardin bemerkt, noch nach 60, die Samen der Schminkbohne noch nach 100 Jahren. Roggenkörner erwiesen sich nach Angaben von Home noch keimfähig, als sie ein Alter von 140 Jahren erreicht hatten. In der Dordogne hat man im Jahre 1834 steinerne Särge in römischen Gräbern aus dem dritten und vierten Jahrhundert n. Chr. Geb. ausgegraben, in denen sich grosse Samenmengen verschiedener Pflanzenspecies vorfanden. Viele der Samen keimten; einige lieferten sogar blühende Pflanzen (Heliotropium europaeum, Medicago lupulina, Centaurea Cyanus [3]) [4]).

Es ist besonders zu betonen, dass die Schädigungen (zumal verminderte Keimfähigkeit), welche die Samen im zunehmenden Alter erleiden, um so mehr hervortreten, je weniger sie während der Ruheperiode vor dem nachtheiligen Einflusse der Feuchtigkeit geschützt bleiben, und diese schädigende Wirkung der Feuchtig-

---

1) So verlieren die Weidensamen ihre Keimfähigkeit, wie angegeben, bald nach der Reife. Aehnlich verhalten sich die Samen von Coffea arabica, überhaupt vieler Rubiaceen, von Dictamnus Fraxinella, Angelica Archangelica etc. Vgl. de Candolle, Physiologie. Deutsch v. Röper. B. 2 S. 260.

2) Vgl. Sternberg: Amtlicher Bericht über die Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte zu Stuttgart. 1834. S. 90.

3) Vgl. über das hier Angeführte de Candolle, Pflanzenphysiologie, Deutsch v. Röper, B. 2 S. 259 und Preyer, über die Erforschung d. Lebens, Jena, 1873, S. 30 und 61.

4) Weitere Angaben über die hier berührten Verhältnisse findet man bei Fleischer, Beiträge zur Lehre vom Keimen der Samen, S. 9, Nobbe, Handbuch d. Samenkunde, S. 369 und Ernst, botan. Zeitung, 1876, Nr. 3.

keit macht sich selbst dann noch geltend, wenn die Samen im lufttrockenen Zustande aufbewahrt werden. So hat z. B. Fr. Haberlandt[1]) Roggenfrüchte jahrelang entweder im lufttrockenen Zustande (A) oder bei 50—60° (B) aufbewahrt und für die Keimfähigkeit derselben folgende Werthe feststellen können:

	A.	B.		A.	B.
Einjährige Körner	97 %	98 %	Sechsjährige Körner	74 %	94 %
Zweijährige „	98 „	99 „	Siebenjährige „	6 „	94 „
Dreijährige „	97 „	99 „	Achtjährige „	6 „	72 „
Vierjährige „	4 „	80 „	Neunjährige „	0 „	10 „
Fünfjährige „	18 „	49 „	Zehnjährige „	0 „	0 „

Das Trocknen hat also unzweifelhaft günstig auf die Erhaltung der Keimfähigkeit der Samen eingewirkt, aber es ist wohl anzunehmen, dass jeder Same, mag er auch unter den denkbar günstigsten Umständen aufbewahrt werden, doch schliesslich seine Keimfähigkeit einbüsst. Diese Schädigung, die sich in vielen Fällen nach Verlauf kurzer, in anderen aber erst nach Verlauf sehr langer Zeit geltend macht, braucht durchaus nicht immer durch nachtheilige äussere Einflüsse bedingt zu sein; man kann sich vielmehr denken, dass die Lebensfähigkeit der Samen allein in Folge der Umlagerung der Atome der organisirten Gebilde derselben allmählich abnimmt und schliesslich völlig verloren geht.

Von biologischer Bedeutung ist ferner die Frage, ob unreife Samen keimen können, denn wenn ungünstige Witterungsverhältnisse oder sonstige Umstände das Reifen der Samen verhindern, so erscheint es offenbar nicht gleichgültig, ob sich der Embryo der Samen nachträglich entwickeln kann, oder ob dies nicht möglich ist. De Candolle[2]) beantwortet die aufgeworfene Frage in bejahendem Sinne. Ebenso giebt Fleischer[3]) an, dass unreife Samen von Pisum sativum, Vicia Faba etc. keimen und Pflanzen liefern, welche reife Samen zu produciren vermögen. Auch Göppert und Cohn fanden, dass unreife Samen keimfähig sind. Nowa-

1) Vgl. Fr. Haberlandt, Just's botan. Jahresbericht f. 1873, S. 259.

2) Vgl. De Candolle, Pflanzenphysiologie. Deutsch von Röper. B. 2 S. 274.

3) Vgl. Fleischer, Beiträge zur Lehre v. d. Keimen etc. S. 5.

cki[1]) fand, dass Weizenkörner, die noch ein grünes Aussehen zeigten, in denen noch nicht sämmtliche Reservestoffe aufgespeichert waren, und deren Embryo sich noch nicht völlig entwickelt hatte (Körner im Stadium der Milchreife), keimten. Allerdings ist aber zu betonen, dass gehörig gereifte Samen im Allgemeinen besser keimen und kräftigere sowie normaler entwickelte Pflanzen als unreife liefern werden.

Zweites Capitel.

Die biologische Bedeutung der Testa, der Reservestoffe und der einzelnen Organe des Embryo.

Ueber die Bedeutung der Testa haben wir uns bereits mehrfach ausgesprochen und bemerkt, dass sie zuweilen in Folge eigenthümlicher Ausbildung ihrer Gewebe für die Verbreitungs- und Quellungsvorgänge der Samen von Wichtigkeit wird. Ferner ist die Testa sicher als ein Gebilde anzusehen, welches die inneren Theile der Samen vor nachtheiligen äusseren Einflüssen der mannigfachsten Art schützt[2]).

Ganz abgesehen davon, dass die Entwickelungsfähigkeit des Embryo geschwächt wird, wenn die Samen mechanische Verletzungen erfahren, ist dasselbe bereits der Fall, wenn die inneren Theile der ruhenden Samen dem Zutritt der atmosphärischen Luft und dem Wechsel im Feuchtigkeitsgehalt der Luft unmittelbar ausgesetzt sind. Die Testa und das Pericarp müssen dem Embryo demnach einen sehr wesentlichen Schutz gewähren.

Ein Versuch, der von G. Haberlandt[3]) mit Hanffrüchten durchgeführt worden ist, dürfte hier für uns von Interesse sein. Haberlandt legte 100 ganz unversehrte und ebenso viele seitlich etwas aufgesprungene Nüsschen unter ganz denselben Verhältnissen zum Keimen aus. Beide Partien waren fast gleich schwer. Von den unversehrten Körnern keimten 80, von den verletzten 54 $^0/_0$, wovon überdies noch 12 Keimlinge bereits am zweiten Tage zu Grunde gingen.

---

1) Vgl. Nowacki, Untersuchungen über d. Reifen des Getreides. Inaugural-Dissert. Halle, 1870 S. 23. Vgl. auch Nobbe, Handbuch d. Samenkunde, S. 341.

2) Die Gewebe der Pericarpien haben häufig ganz analoge Functionen zu erfüllen wie diejenigen der eigentlichen Samenschalen.

3) Vgl. G. Haberlandt: Die Schutzeinrichtungen etc. S. 4.

Wir haben bereits im ersten Hauptabschnitte darauf hingewiesen, dass die Samenschalen als Reservestoffbehälter höchstens eine sehr untergeordnete Bedeutung besitzen. Die Richtigkeit dieser Anschauung ergiebt sich einfach aus der Berücksichtigung der Thatsache, dass das Trockensubstanzgewicht der Testa bei der Keimung der Samen nur eine geringe Abnahme erfährt. Dagegen ist an dieser Stelle zu bemerken, dass die Testa entschieden dazu beiträgt, eine vollkommenere Ausnutzung der im Endosperm etc. aufgespeicherten Reservestoffe seitens des Embryo herbeizuführen. Der Samenschale beraubte Samen geben, wie ich feststellen konnte, grössere Stoffmengen an das sie umgebende Wasser als ungeschälte Samen ab, und bei den Samen von Soja hispida hält die Testa die Reservestoffe im buchstäblichen Sinne zusammen[1]). Werden entschälte Sojabohnen mit Wasser in Berührung gebracht, so machen sich im Gewebe der Cotyledonen in Folge der energisch stattfindenden Quellung Spannungserscheinungen geltend, die, wovon ich mich mehrfach überzeugte, dahin führen, dass sich an den verschiedensten Stellen der Keimblattoberfläche Gewebepartien ablösen und losblättern. Wenn die ihrer Testa nicht beraubten Bohnen zum Quellen gelangen, so macht sich die berührte Erscheinung nicht geltend, und die Keimblätter treten im unversehrten Zustande hervor.

Man sieht, dass die Testa also für den keimenden Samen von hoher Bedeutung sein kann, und man wird in dieser Anschauung nur bestärkt, wenn man bedenkt, dass die Entwickelung des Embryo solcher Samen, die im entschälten Zustande den Keimungsbedingungen ausgesetzt werden, in vielen Fällen nicht normal vor sich geht. Bereits Du Hamel hat ein derartiges Verhältniss constatiren können, und man hat ebenfalls neuerdings wiederholt gefunden, dass ihrer Testa beraubte Samen entweder gar nicht zum Keimen gelangen, oder kümmerlich entwickelte Keimpflanzen liefern. Nur dann, wenn die Keimung unter sehr günstigen Verhältnissen (höhere Temperatur, nicht zu grosser Wasserreichthum des Bodens) erfolgt, liefern auch ihrer Testa beraubte Samen kräftig ausgebildete Keimpflanzen[2]). So fand ich,

---

1) Vgl. G. Haberlandt, Die Schutzeinrichtungen etc. S. 17.

2) Bemerkt sei noch, dass nach Sachs (Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wissensch. zu Wien, B. 87 S. 58) die Keimwurzeln von Phaseolus multiflorus sehr häufig Beschädigungen erfahren, indem sie die Testa durchbohren. Dies steht nicht mit dem Angeführten im Widerspruch, denn was für schwächliche Keimlinge gilt, hat nicht dieselbe Bedeutung, wenn es sich um die Entwickelung normaler Keim-

dass Samen einer kleinen Erbsenvarietät, welche 24 Stunden lang gequollen hatten, und dann, nachdem sie ihrer Testa beraubt worden waren, recht günstigen Keimungsbedingungen ausgesetzt wurden, ganz normal keimten.

Schreiten wir weiter fort, und legen wir uns die Frage vor, welche Bedeutung die Reservestoffe für die Entwickelung des Embryo besitzen, so muss vor allen Dingen auf das in früheren Abschnitten geäusserte hingewiesen werden. Werden Samen bei Abschluss des Lichtes den Keimungsbedingungen ausgesetzt, so erreichen die jungen Keimpflanzen einen gewissen Grad der Evolution. Die im Samen aufgespeicherten stickstofffreien sowie stickstoffhaltigen organischen Körper und Mineralstoffe werden verbraucht; sie ermöglichen das Wachsthum der jungen Pflanzen.

Es ist Thatsache, dass dann, wenn die Wurzel des Embryo aus dem Samen hervorgetreten ist, und die Stamm- und Blattgebilde des Keimlings unter dem Einflusse des Lichtes ergrünen, die selbstständige Ernährung der jungen Pflanze unter günstigen Bedingungen beginnt. Untersucht man die Reservestoffbehälter der Samen oder Keimpflanzen jetzt, so findet man dieselben häufig noch mit grossen Quantitäten verschiedener Substanzen angefüllt, und man könnte meinen, dass diese Stoffmengen gar keine Bedeutung für die weitere Entwickelung der Keimpflanzen hätten. Dem ist aber keineswegs so, was mit einiger Sicherheit bereits aus dem Ergebniss der folgenden Beobachtung hervorgehen dürfte. Wenn man die Reservestoffbehälter der Untersuchungsobjecte, nachdem diese letzteren unter dem Einflusse des Lichtes eine beträchtliche Grösse erreicht haben, genauer betrachtet, so findet man, dass sie jetzt fast völlig erschöpft sind, dass also die Reservestoffe des Samen verbraucht sein müssen. Ein Theil der Reservestoffe, die ursprünglich vorhanden waren, ist unter Vermittelung des atmosphärischen Sauerstoffes zu Kohlensäure und Wasser oxydirt worden, ein anderer Theil wird aber ebenso gut im Organismus der sich unter normalen Verhältnissen entwickelnden Pflanze wie in demjenigen der etiolirten Keimpflanze Verwendung finden können.

Die Reservestoffe der Samen haben also einerseits den Zweck, die erste Entwickelung des Embryo überhaupt zu ermöglichen,

pflänzchen handelt. Ueberdies muss betont werden, dass das Würzelchen vieler Samenarten in keiner Weise durch das Vorhandensein der Testa in seinem Wachsthum beeinträchtigt wird.

weiter aber dienen sie dazu, den jugendlichen Organismus, der bereits einen solchen Grad der Entwickelung erreicht hat, dass er sich allerdings selbstständig ernähren kann, zu kräftigen. Diese Function der Reservestoffe ist um so wichtiger, als wir wissen, dass gerade die junge Keimpflanze vielen Gefahren ausgesetzt ist, und ungünstige äussere Verhältnisse ihre Existenz in weit höherem Grade als diejenige des erstarkten Organismus bedrohen. Oft genug geräth die junge Keimpflanze in der Natur in die Lage, nicht genügende Quantitäten von organischen Stoffen durch Assimilation bilden zu können; wären die Reservestoffe in solchen Fällen nicht vorhanden, so würde die Keimpflanze häufig zu Grunde gehen.

Mit dem Hinweise auf weiter unten eingehender zu erörternde Verhältnisse muss betont werden, dass die Richtigkeit des hier geltend gemachten Hauptgesichtspunktes, wonach die Reservestoffe der Samen und Keimpflanzen für die letzteren auch dann noch Bedeutung besitzen, wenn der Embryo bereits das erste Entwickelungsstadium durchgemacht hat, in ein helles Licht gestellt wird, wenn man die Resultate solcher Untersuchungen ins Auge fasst, bei deren Ausführung einerseits grosse Samenindividuen, andererseits kleinere Samenindividuen derselben Species zur Anwendung kamen. Derartige Untersuchungen sind bereits mehrfach vorgenommen worden, aber wir wollen mit Rücksicht darauf, dass die exact durchgeführten im Allgemeinen stets zu gleichen Ergebnissen geführt haben, nur einige derselben eingehender besprechen.

Neuerdings hat Marek den hier in Rede stehenden Verhältnissen besondere Aufmerksamkeit zugewandt, und die Resultate seiner Forschungen in einer Schrift, die in verschiedener Hinsicht grosse Beachtung verdient, niedergelegt[1]). Marek liess die Samen verschiedener Pflanzen vom 19. December bis zum 5. Januar auf angefeuchtetem Fliesspapier bei Lichtzutritt und bei einer Temperatur von 16—18 ° R. keimen. Wir theilen nur einige Resultate der Untersuchungen in der folgenden Tabelle mit[2]).

---

1) Vgl. Marek: Das Saatgut und dessen Einfluss auf Menge und Güte der Ernte. Wien 1875. S. 101.

2) Die sämmtlichen Resultate, welche in der folgenden Tabelle zur Mittheilung gelangen, sind Mittelwerthe von je 10 einzelnen Messungen.

	Wurzelentwickelung						Stengelentwickelung.		
	Hauptwurzel				Nebenwurzel				
	Zahl	Länge	Längere Axe des Querdurchschnittes	Kürzere Axe des Querdurchschnittes	Zahl	Gesammtlänge aller Nebenwurzeln	Höhe	Längere Axe des Querdurchschnittes	Kürzere Axe des Querdurchschnittes
		in Mm.	in Theilstrichen			in Mm.	in Mm.	in Theilstrichen	
I. Pferdebohnen.									
Keimpflanzen aus grossen Körnern entwickelt	1	150.8	414	304	36	800	125.5	313	303
Keimpflanzen aus kleinen Körnern entwickelt	1	130.7	308	200	25	411	119.6	217	202
II. Erbsen.									
Keimpflanzen aus grossen Körnern entwickelt	1	144.1	345	317	31	1141	144.6	307	295
Keimpflanzen aus kleinen Körnern entwickelt [1])	1	118.2	232	173	18	314	148.6	212	202

Die aus grossen Körnern erzogenen Pflanzen entwickelten sich also ungleich schneller und kräftiger als diejenigen, welche aus kleineren Körnern erwachsen waren [2]).

Bei der Ausführung fernerer Untersuchungen gelangte Marek zu ähnlichen Resultaten [3]). Die grossen, mittleren und kleinen Samen von Phaseolus vulgaris, welche zu den Versuchen dienten, zeigten die folgenden Gewichte:

Grosse Samen 0.370 Grm.
Mittlere „ 0.310 „
Kleine „ 0.230 „

Bei der Ausführung einer Versuchsreihe wurden die Bohnensamen am 24. April zwischen feuchten Flanelllappen zur Quellung gebracht und am folgenden Tage in Erde, die sich in Glasgefässen

1) Untersuchungen, bei deren Ausführung Sommerweizen, Lein und Sommerrübsen benutzt wurden, lieferten ganz ähnliche Ergebnisse wie die Versuche mit Pferdebohnen und Erbsen.

2) Aus den Angaben in der Tabelle geht hervor, dass die Länge der Stengel bei den Erbsenpflanzen der grossen Samen etwas geringer war, als bei denjenigen, die sich aus kleineren Samen entwickelt hatten. Wir haben es hier lediglich mit einem Ausnahmefall zu thun, dem keine weitere Berücksichtigung zu schenken ist.

3) Vgl. Marek: Ueber den physiologischen Werth der Reservestoffe in den Samen von Phaseolus vulgaris. Habilitationsschrift. Halle 1877. S. 5.

befand, eingelegt. Die Resultate der Beobachtungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

	Höhenmessung in Cm.			Blattmessungen am 12. Juli in Cm.					
	am 6. Mai.	am 31. Mai.	am 16. Juni.	grosse Blätter. Zahl.	kleine Blätter. Zahl.	Dimensionen der grossen Bltr. Länge	Dimensionen der grossen Bltr. Breite	Dimensionen der kleinen Bltr. Länge	Dimensionen der kleinen Bltr. Breite
Grosse Bohnen 1	6	20	21	11	9	9	7	5	3
2	7	18	22						
Mittlere „ 1	7	10	16	11	8	8	7	2	1.5
2	6	15	15						
Kleine „ 1	6	12	12	11	6	7	6	1.5	1[1])
2	5	15	15						

Es bedarf noch der Erwähnung, dass die kräftigere Entwickelung der Pflanzen, die aus grossen Körnern erwachsen, sich nicht nur während der ersten Stadien der Ausbildung der Untersuchungsobjecte geltend macht, sondern bis zur völligen Reife derselben fortdauert. Dies zeigen die Resultate einiger Untersuchungen Marek's [2]) ebenfalls deutlich, bei deren Ausführung er eine gleiche Anzahl grosser und kleiner Erbsensamen auf gleichgrosse Flächen Landes aussäete [3]). Die Erntegewichte (in Grm.) gestalteten sich wie folgt:

	Ertrag von grossen Körnern.	Ertrag von kleinen Körnern.
Stroh	4185	4074
Spreu und Schoten	1519	1405
Körner I. Qualität	1375	540
„ II. „	554	1045
Summarisches Erntegewicht	7633	7064 [4]).

1) Zu ähnlichen Resultaten gelangte Marek, als er aus Samen von verschiedener Grösse erwachsene Pflanzen in destillirtem Wasser bei Zutritt oder Abschluss des Lichtes cultivirte. Die aus grossen Samen erzogenen Keimpflanzen zeigten auch ein bedeutenderes Lebend- und Trockengewicht als die aus kleineren Samen erwachsenen.

2) Vgl. Marek: Das Saatgut und dessen Einfluss etc. S. 54.

3) Aehnliche Untersuchungen hat Marek auch unter Benutzung von Pferdebohnen, Sommerweizen, Lein und Sommerrübsen ausgeführt.

4) Die Thatsache, dass Pflanzen aus grossen Samen sich während ihrer gesammten Vegetationszeit kräftiger entwickeln, als Pflanzen aus kleineren Samen, besitzt ins Besondere ein sehr grosses Interesse für den Landwirth. Marek, Lehmann (vgl. die Angaben in Marek's Abhandlung), Wollny (vgl. Journal f. Landwirthschaft, 1877, H. 1 u. 2) und andere gingen bei ihren Untersuchungen namentlich vom landwirthschaftlichen Standpunkte aus, und durch die übereinstimmenden Ergeb-

Handelt es sich nun darum, eine Erklärung für die Thatsache zu geben, dass grössere Samen normaler entwickelte Keimpflanzen als kleinere Samen liefern, so sind verschiedene Momente nicht aus dem Auge zu lassen.

1. Zunächst ist auf das Verhältniss, in welchem die einzelnen morphologischen Theile der Samen in grossen und kleinen Individuen vorhanden sind, hinzuweisen. Für den Samen der Erbsen — und diesen analog werden sich die Verhältnisse für viele andere Samen gestalten — konnte Marek folgendes constatiren:

Die Trockensubstanz vertheilt sich:

bei 15 grossen Erbsen:			
auf Plumula und Radicula	mit	0.052 Grm.	= 0.874 %
„ die Samenschale	„	0.362 „	= 6.084 „
„ „ Cotyledonen	„	5.536 „	= 93.042 „
			100.000
bei 15 Erbsen mittlerer Grösse:			
auf Plumula und Radicula	mit	0.036 Grm.	= 1.055 %
„ die Samenschale	„	0.264 „	= 7.742 „
„ „ Cotyledonen	„	3.110 „	= 91.203 „
			100.000
bei 15 kleinen Erbsen:			
auf Plumula und Radicula	mit	0.024 Grm.	= 1.228 %
„ die Samenschale	„	0.164 „	= 8.393 „
„ „ Cotyledonen	„	1.766 „	= 90.379 „
			100.000

Die vorstehenden Angaben bedürfen keines weiteren Commentars.

2. Marek hat mit Hülfe eines eigenthümlich eingerichteten Apparats constatiren können, dass die Wurzel des Embryo grosser Erbsensamen im Stande ist, ohne sich zu krümmen, einen 10 mal bedeutenderen Widerstand zu überwinden, als die Wurzel des Embryo kleiner Erbsensamen [1]).

---

nisse ihrer Beobachtungen ist die Irrthümlichkeit der Anschauungen, welche sich z. B. Bonnet, von Rosenberg-Lipinsky (vgl. dessen prakt. Ackerbau, 1862, S. 630) und Boehm (vgl. Botan. Zeitung, 1875, S. 373) über die in Rede stehenden Verhältnisse gebildet haben, bewiesen. Wollny (vgl. Journal f. Landwirthschaft, 1877, H. 2, S. 162) hat auch nachgewiesen, „dass, wenn den grossen Körnern derjenige Bodenraum zugetheilt ist, bei welchem sie das Maximum des Ertrages geben, dieselbe Gewichtsmenge kleiner Körner auf einer gleichen Fläche Pflanzen entwickelt, welche geringere Erträge liefern." Wir haben hier einige Verhältnisse, die für den Landwirth sehr grosses Interesse besitzen, berührt; es liegt uns aber fern, dieselben weiter zu verfolgen.

1) Die grossen zu den Versuchen benutzten Erbsensamen besassen ein mittleres Gewicht von 0.41 Grm., die kleineren aber ein mittleres Gewicht von 0.15 Grm.

Das berührte Verhältniss ist für die sich im Boden entwickelnden Wurzeln der Keimpflanzen entschieden von Bedeutung. Namentlich stellen thonreiche, eine hohe Wassercapicität besitzende Böden den sich ausbildenden Wurzeln einen erheblichen Widerstand entgegen. Die Wurzel des Embryo grosser Samen wird — dies geht aus den Beobachtungen Marek's klar hervor — mit grösserer Leichtigkeit in tiefere Bodenschichten eindringen können, als die Wurzel der aus kleineren Samen erwachsenen Keimpflanze.

3. Endlich ist hier noch auf die verschiedenartige procentische Zusammensetzung grosser und kleiner Individuen einer und derselben Samenvarietät hinzuweisen. Marek verdanken wir z. B. die folgenden Angaben:

Zusammensetzung von 100 Theilen lufttrockener

	Pferdebohnen.		Erbsen.	
	Grosse Samen.	Kleine Samen.	Grosse Samen.	Kleine Samen.
Wasser	13.00	12.75	12.12	10.12
Eiweissstoffe	24.23	25.41	22.84	24.58
Fett	2.28	2.01	3.58	3.48
Rohfaser	8.11	11.57	4.09	6.36
Asche	2.64	2.83	2.53	2.58
Stickstofffr. Extractstoffe	49.74	45.43	54.84	52.88
	100.00	100.00	100.00	100.00

Das wichtigste Ergebniss der hier berührten und weiterer Untersuchungen Marek's lässt sich dahin zusammenfassen, dass die kleinen Samenindividuen den grossen gegenüber procentisch reicher an Proteinstoffen und Rohfaser, dagegen procentisch ärmer an stickstofffreien Extractstoffen sind. Marek hat nun ferner den absoluten Gehalt einer gleichen Anzahl grosser und kleinerer Samenindividuen an organischen Stoffen etc. berechnet und gelangt z. B. für die Erbsen zu folgenden Resultaten:

	100 grosse Erbsen enthalten in Grm.	100 kleine Erbsen enthalten in Grm.
Wasser	4.970	1.524
Eiweissstoffe	9.364	3.701
Fett	1.468	0.524
Rohfaser	1.677	0.957
Asche	1.038	0.388
Stickstofffr. Extractstoffe	22.484	7.961
	41.001	15.055

Wenn wir die hier berührten Verhältnisse überblicken, so erklärt sich die Thatsache, dass die Pflanzen, welche aus grossen Samenindividuen erwachsen, eine weit kräftigere Entwickelung als die aus kleineren Samenindividuen hervorgegangenen zeigen, in einfacher Weise.

Wichtig ist zumal, dass der Embryo grosser Samen ein absolut höheres Gewicht als derjenige kleinerer Samen zeigt, dass grosse Samen absolut reicher an Reservestoffen als kleinere sind, und dass die Wurzel des Embryo grosser Samen leichter in den Boden eindringt als diejenige des Embryo kleinerer Samenindividuen.

Der Embryo grosser Samen entwickelt sich von vornherein energischer als derjenige kleinerer Samenindividuen derselben Varietät. Die Wurzeln der grösseren Embryonen dringen tiefer in den Boden ein [1]), und die Blattgebilde derselben vermögen, wenn sie über die Bodenoberfläche hervorgetreten sind, mehr organische Substanz als diejenigen kleinerer Embryonen durch Assimilation zu produciren. Ferner stehen den Pflanzen, die aus grossen Samen erwachsen sind, aber weit grössere Quantitäten an Reservestoffen als den aus kleineren Samen hervorgegangenen zur Disposition, und diese grössere Menge an Reservestoffen wird den ersteren namentlich dann von erheblichem Nutzen sein, wenn der Process der Assimilation in Folge bewölkten Himmels etc. in wenig ausgiebiger Weise stattfinden kann. Die aus grossen Samen hervorgegangenen Pflanzen haben also den aus kleineren Samenindividuen erwachsenen Pflanzen derselben Species gegenüber einen weit leichteren Stand im Kampfe ums Dasein. Die von Anfang an schwächlich ausgebildeten Pflanzen bleiben während ihrer ganzen Vegetationszeit, falls sie nicht bereits in früher Jugend zu Grunde gegangen sind, in ihrer Entwickelung hinter denjenigen Individuen zurück, die sich von vornherein kräftig entfalten konnten [2]).

---

1) Ein tieferes Eindringen der Wurzeln der Keimpflanzen in den Boden kann für die Entwickelung der jugendlichen Organismen nur von Vortheil sein. Namentlich ist zu bemerken, dass ein tieferes Eindringen der Wurzeln in Perioden der Trockenheit für die Pflanzen von Bedeutung wird. Die oberen Bodenschichten verlieren dann sehr viel Wasser, und die Gewächse gehen leicht zu Grunde, wenn sie nicht im Stande sind, tieferen Bodenschichten Feuchtigkeit zu entziehen.

2) Ein solches Verhältniss kann natürlich nur dann scharf hervortreten, wenn die verschiedenen Pflanzenindividuen unter denselben Verhältnissen vegetiren. In der Natur kommt es selbstverständlich oft genug vor, dass Pflanzen, die sich anfangs kräftiger als andere entwickelten, von diesen letzteren später in ihrer Ausbildung überholt werden.

Die Erkenntniss dieses Verhältnisses und die gehörige Würdigung desselben, ist für das praktische Leben, namentlich für die Landwirthschaft, von grosser Bedeutung geworden. Die Ueberzeugung, dass es am zweckmässigsten sei, dem Boden die grössten und am vollkommensten ausgebildeten Körner als Saatgut anzuvertrauen, hat mehr und mehr Raum gewonnen, und man legt heute mit Recht mehr Gewicht auf die Qualität des Samen als es früher geschah. Verschiedene Resultate wissenschaftlicher Untersuchungen, welche zur Förderung des landwirthschaftlichen Betriebes ausgeführt worden sind, können hier nicht ganz unerwähnt bleiben, weil sie uns auf einige Punkte hinweisen, die ebenfalls für die in Rede stehenden Verhältnisse nicht ohne Interesse erscheinen.

Es kommt in der Natur oft genug vor, dass die Samen nicht an der Bodenoberfläche selbst zum Keimen gelangen, sondern in tiefere Erdschichten gerathen und hier ihre Entwickelung beginnen. Es ist selbstverständlich, dass Samen, über denen bedeutende Erdschichten lagern, nicht zum Keimen gelangen können, denn es mangelt in tieferen Bodenschichten oft an genügenden Sauerstoffquantitäten und ferner muss bemerkt werden, dass selbst dann, wenn die Keimung der tief im Boden ruhenden Samen wirklich begonnen hat, die Fortexistenz der jungen Pflanze noch nicht gesichert ist. Soll die Erstarkung des Organismus erfolgen, so müssen die Keimtheile der Samen doch vor allen Dingen zunächst an die Bodenoberfläche gelangen; dies ist aber unter Umständen nicht möglich, weil die Reservestoffe des Samen von der jungen Keimpflanze bereits aufgezehrt sein können, bevor dieselbe die Bodenoberfläche erreicht hat. Wenn wir das zuletzt berührte Verhältniss schärfer ins Auge fassen, so erklärt sich uns die Thatsache in einfachster Weise, dass Keimpflanzen, die sich aus grossen Samenindividuen einer bestimmten Varietät entwickeln, eine tiefere Lage der Samen im Boden weniger gefährlich wird, als denjenigen, welche aus kleineren Samenindividuen derselben Varietät erwachsen sind. Zur genaueren Orientirung über die hier berührten Verhältnisse sei noch das Folgende mitgetheilt.

Jessen[1]) brachte je 100 der nachstehend aufgeführten Sa-

---

1) Vgl. über Jessen's Arbeiten in Nobbe's Handbuch der Samenkunde. S. 180.

menkörner zu verschiedener Tiefe in den Boden. Es keimten in Proct. bei einer Tieflage von Ctm.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17½	20
Phleum pratense	100	90	96	92	71	42	56	38	31	46	50	31					
Secale cereale	50	56	50	50	40	52	38	38	38	27	21	13	20	19	8	10	4
Zea Mays	46	65	67	50	90	98	100	71	77	79	69	60	52	54	38		
Trifolium repens	44	35	31	17	19	13	15	10	6	4	4	8[1]					

Ekkert[2]) hat Beobachtungen über die Ausbildung der Internodien von Gerstenpflanzen mitgetheilt, welche sich aus Samen, die bis zu verschiedener Tiefe in den Boden gelegt worden waren, entwickelt hatten. Die Körner waren am 28. März ausgesäet, und am 1. Mai fanden die ersten Messungen statt. Die Resultate im Durchschnitt von 8 Pflanzen pro Tieflage waren folgende:

Tieflage. Ctm.	Länge d. unterirdischen Internodien.			Unterer	Oberer
	1. Intern. Ctm.	2. u. 3. Intern. Ctm.	Gesammtlänge. Ctm.	Durchmesser d. 1. Intern. Mikromillim.	
2	0.64	—	0.64	981	1052
4	2.45	—	2.45	919	1001
6	3.7	—	3.7	904	979
9	6.2	0.8	7.0	793	835
12	7.2	1.3	8.5	823	874
15	9.2	1.7	10.9	759	832

Die Ergebnisse der angeführten Untersuchungen berechtigen namentlich zu zwei Schlussfolgerungen[3]):

1. Keimen einerseits grosse, andererseits kleinere Samen in tiefer liegenden Bodenschichten, so haben die Keimpflanzen der ersteren mehr Aussicht, die Bodenoberfläche zu erreichen, als diejenigen der kleineren Samen.

2. Die Reservestoffquantität der Samen, welche zur Bildung

1) Bei der Beurtheilung dieser Zahlen ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass die verschiedenen Samenarten nicht in gleichem Grade keimfähig waren.

2) Vgl. Ekkert: Ueber Keimung, Bestockung und Bewurzelung der Getreidearten. Dissertation. Leipzig, 1873. S. 66.

3) Ich unterlasse es gänzlich, auf die Bedeutung der hier in Rede stehenden Verhältnisse für die Landwirthschaft etc. hinzuweisen. Nur dies sei bemerkt, dass, wenn auch die Bedeckung der Samen mit mächtigen Erdschichten der jungen Keimpflanze nicht zum Vortheil gereicht, doch ebenfalls eine zu flache Saat nicht empfohlen werden kann. Unter solchen Verhältnissen werden viele Samen von Vögeln vertilgt, und die Keimpflanzen sind der Gefahr des Austrocknens oft in hohem Grade ausgesetzt. Die hier berührten Gegenstände werden eingehender von folgenden Autoren besprochen: G. Roestell (vgl. Jahresbericht für Agriculturchemie, 11. 12. Jahrgang, S. 23), Tietschert (Keimungsversuche mit Roggen und Raps, Halle, 1872), Ekkert (Fühling's landwirthschaftl. Zeitung, 1875, S. 10).

unterirdischer Internodien der Keimpflanzen Verwendung findet, wird um so grösser sein müssen, je tiefer die Samen im Boden ruhen.

Es erscheint durchaus überflüssig, dem Gesagten noch etwas hinzuzufügen, und wir können sofort zur Erörterung weiterer Verhältnisse übergehen.

Man kann, wie wir gesehen haben, durch die Untersuchung des Verhaltens grosser und kleiner Samenindividuen einer Varietät bei der Keimung zu Ergebnissen geführt werden, welche für die Beurtheilung der Bedeutung der Reservestoffe von grosser Wichtigkeit sind. Ferner ist aber der Werth solcher Untersuchungen, bei deren Ausführung man einerseits mit unverletzten, andererseits mit verletzten, ihrer Reservestoffe theilweise beraubten Samen experimentirt, für die Lösung der in Rede stehenden Fragen ebenfalls nicht zu unterschätzen, und wir gehen auf die bezüglichen Arbeiten um so lieber ein, als dieselben in mehr als einer Hinsicht von Interesse sein dürften.

Bonnet behauptete, dass die Entwickelung des Embryo der Samen in Folge des Abschneidens der Cotyledonen oder der Entfernung des Endosperm völlig unmöglich oder doch mindestens sehr geschwächt werde.

Sachs[1]) schnitt Embryonen der Schminkbohne (Phaseolus multiflorus) beide Cotyledonen ab und steckte den Keim in feuchte Erde. Derselbe entwickelte sich sehr kümmerlich; die Primordialblätter entfalteten sich nicht. Ganz anders gestaltete sich das Verhältniss, wenn Sachs von den Embryonen der Schminkbohne nicht beide Cotyledonen, sondern nur ein Keimblatt abschnitt. Die Pflanzen entwickelten sich ziemlich normal; sie blieben nur in allen Theilen kleiner als die aus unverletzten Samen erwachsenen Untersuchungsobjecte. Hatten sich Bohnenpflanzen aus unverletzten Samen bis zu einem bestimmten Grade entwickelt, und wurden dieselben nunmehr beider Cotyledonen beraubt, so trat zunächst ein Stillstand im Wachsthum der Pflanzen ein, dann aber begannen sie aufs Neue, sich weiter zu entwickeln. Der nachtheilige Einfluss der Operation machte sich um so weniger geltend, je später dieselbe vorgenommen wurde, und je günstiger die Vegetationsbedingungen waren, denen sich die Untersuchungsobjecte nach der Entfernung der Cotyledonen ausgesetzt befanden. Die Resul-

1) Vgl. Sachs: Sitzungsbericht d. Akdm. d. Wiss. zu Wien. Mathem.-naturwissenschaftl. Classe. B. 37. S. 84.

tate der kurz charakterisirten Versuche werfen, wie leicht zu sehen ist, ein helles Licht auf die Bedeutung der Reservestoffe für die junge Pflanze. In den ersten Keimungsstadien ist die junge Pflanze gänzlich von den Reservestoffen abhängig. Mit zunehmendem Alter der Pflanze wird die Bedeutung der Reservestoffe für dieselbe eine immer geringere, weil der Organismus mehr und mehr die Befähigung erlangt, sich selbstständig durch Assimilation etc. zu ernähren [1]).

Eingehendere Beobachtungen über den hier in Rede stehenden Gegenstand sind von van Tieghem [2]) ausgeführt worden. Der genannte Forscher hat einerseits den Grad der Abhängigkeit der verschiedenen Organe des Embryo von einander, andererseits die Abhängigkeit des Embryo im Ganzen von dem Endosperm studirt.

Van Tieghem experimentirte sowohl mit eiweisslosen Samen (Helianthus) als auch mit eiweisshaltigen (Mirabilis, Zea). Stammgebilde, Wurzeln und Cotyledonen der Embryonen, die von einander losgetrennt waren, wuchsen und vergrösserten sich zunächst unter dem Einflusse normaler Keimungsbedingungen, als ob sie im Zusammenhange ständen. Aber nach einiger Zeit, wenn die Reservestoffe verbraucht waren, erfolgte ein Stillstand in der Entwickelung der Pflanzentheile und endlich gingen dieselben zu Grunde. Das Stengelchen der Embryonen starb ab, nachdem es Nebenwurzeln gebildet hatte. Die Cotyledonen ergrünten, vergrösserten sich beträchtlich, erzeugten zunächst an der Schnittfläche Wurzeln, ja zuletzt einen neuen Stengel und gingen erst dann zu Grunde. Auch Stücke von Cotyledonen sind im Stande, eine neue Pflanze zu liefern. Der Länge nach in zwei oder vier Theile geschnittene Embryonen können zwei oder vier Pflanzen liefern.

Was die Abhängigkeit des Embryo im Ganzen von dem Endosperm anbelangt, so zeigte van Tieghem, dass sich ihres Endosperm beraubte Embryonen von Mirabilis zunächst ganz normal entwickeln. Stengel, Wurzeln und Cotyledonen wuchsen erheblich; die Knospe entfaltete sich aber nicht [3]).

---

1) Sachs (vgl. botan. Zeitung, 1862, S. 148) giebt auch an, dass sich Maisembryonen, wenn man das Endosperm der Samen entfernt hat, höchst kümmerlich entwickeln.

2) Vgl. van Tieghem, Annl. des scienc. nat., Botanique. Ser. V, T. XVII, p. 205. Man vgl. auch botan. Zeitung. 1873. S. 520.

3) Vgl. Gries, Annl. des scienc. nat., Botanique. Ser. V, T. II. p. 107.

Offenbar liegt nun die Frage nahe, ob das Endosperm nur vermöge der in ihm enthaltenen Reservestoffe, oder auch in noch anderer Weise bei der Ernährung des Embryo betheiligt ist. Van Tieghem hat diese Frage zuerst schärfer ins Auge gefasst und verschiedene Untersuchungen zu ihrer Lösung ausgeführt.

Nackte Embryonen von Mirabilis wurden mit kleinen, aus dem zerriebenen und mit Wasser angefeuchteten Endosperm der Samen hergestellten Kügelchen umgeben und zum Keimen gebracht. Bei der Keimung in feuchtem Moose wurden die folgenden Resultate erhalten: Nach 5 Tagen waren von 19 in der angedeuteten Weise behandelten Embryonen 7 kräftig bewurzelt; die Stengelchen zeigten eine Länge von 25 Mm., und die Cotyledonen waren ergrünt. Die nicht in Endospermmasse eingebetteten Embryonen zeigten nach fünftägiger Vegetation eine ähnliche Entwickelung wie die mit grösseren Reservestoffmengen umgebenen. Nach 12 Tagen jedoch ergab sich eine auffallende Differenz. Die in Endospermmasse eingebetteten Embryonen hatten Stengel von 60 Mm., langgestielte Cotyledonen von 25 Mm. und eine Plumula von 20 Mm. Länge entwickelt. Die vollkommen nackten Embryonen zeigten Stengel von 35 und Cotyledonen von 15 Mm. Länge; die Plumula war nicht ausgebildet. Die Keimtheile der Embryonen ganz unverletzter Mirabilissamen entwickelten sich im Verlaufe von 12 Tagen kräftiger als diejenigen solcher Embryonen, welche künstlich ernährt worden waren. Van Tieghem stellte noch weitere Versuche an, bei deren Ausführung er einerseits wieder nackte Embryonen, andererseits solche benutzte, die in reine Kartoffelstärke oder in ein Gemisch von Kartoffelstärke und Salzen oder endlich in Mehl von Polygonum Fagopyrum eingesetzt worden waren. Die einzelnen Organe der künstlich ernährten Embryonen entwickelten sich stets kräftiger als diejenigen der nackten. Die Amylumkörnchen, welche die Embryonen während des Wachsthums unmittelbar berührt hatten, zeigten sich, wie ausdrücklich bemerkt werden muss, corrodirt.

Bevor wir die interessanten Resultate dieser Untersuchungen van Tieghem's genauer ins Auge fassen, müssen wir noch auf die Ergebnisse anderer Arbeiten hinweisen.

Blociszewski[1]) setzte Cotyledonen der Erbsen und Lupinen den Keimungsbedingungen aus. Die Pflanzentheile ergrünten und erzeugten Wurzeln, die immer an der Stelle zum Vorschein

1) Vgl. Blociszewski: Landwirthschaftl. Jahrbücher. B. 5. S. 145.

kamen, wo das hypocotyle Glied angeheftet war [1]). Der genannte Forscher cultivirte ferner verschiedene unverletzte Samen und gleichzeitig nackte Embryonen derselben etc. in einem sehr sorgfältig vorbereiteten Boden im Freien [2]). Die Pflänzchen aus nackten Embryonen unterschieden sich in ihrer ersten Entwickelungsperiode nicht nur in bedeutsamer Weise von den aus unverletzten Samen hervorgegangenen Pflanzen, sondern auch von den nur eines Keimblattes oder eines Theils des Endosperm beraubten Untersuchungsobjecten. In den folgenden Perioden verschwanden die Unterschiede mehr und mehr. Die Blüthezeit trat bei den aus unverletzten Samen erwachsenen Pflanzen um 2—3 Tage früher als bei den übrigen Individuen ein. In der folgenden Tabelle sind einige Hauptresultate der Untersuchungen Blociszewski's zusammengestellt. Zur Wägung wurden stets je 3 best ausgebildete Pflanzen ausgewählt.

Angaben der eingepflanzten Samentheile.	Gewicht der geernteten Pflanzen in Grm.
Roggen.	
Embryo mit dem Schildchen	4.3
Hälften der Länge nach durchschnittener Samen	4.6
Hälften quer durchschnittener Samen mit ganzem Embryo	6.5
Ganze Samen	7.8
Erbsen.	
Beider Cotyledonen beraubte Embryonen	11.80
Hälften der Länge nach durchschnittener Samen	16.95
Hälften quer durchschnittener Samen mit ganzen Embryonen	21.20
Ganze Samen	29.50
Oelrettig.	
Beider Cotyledonen beraubte Embryonen	125.5
Embryonen mit einem Keimblatt	119.8
Ganze Samen	119.8

Wenn man die Resultate der Untersuchungen Blociszewki's überblickt, so zeigt sich eine deutliche Beziehung zwischen der den Pflanzen zur Disposition stehenden Reservestoffquantität und der Entwickelung der Pflanzen. Selbst die vom Endosperm oder den

---

1) Bei ausschliesslicher Benutzung von Cotyledonen gelang es niemals ganze Pflanzen zu erhalten.

2) Um das Abtrennen der einzelnen Pflanzentheile leicht ausführen zu können, wurden die Samen einige Stunden lang eingequollen.

Cotyledonen befreiten Embryonen wuchsen sehr lebhaft und lieferten normal ausgebildete Pflanzen. Sachs und van Tieghem hatten bei ihren Untersuchungen über das Wachsthum nackter Embryonen weit ungünstigere Ergebnisse als Blociszewski erhalten, und dürften sich diese Differenzen unter Berücksichtigung der folgenden Momente erklären. Während der ersten Zeit ihrer Entwickelung stehen den nackten Embryonen nur die geringen in ihnen enthaltenen Reservestoffmengen zur Disposition. Die jungen Pflanzen wachsen sehr langsam und unterliegen äusseren Einflüssen weit leichter als diejenigen Individuen, denen die als Schutz- und Kräftigungsmittel fungirenden Reservestoffe des Endosperm oder der Cotyledonen belassen worden sind. Nur dann, wenn die aus nackten Embryonen hervorgehenden Pflänzchen mit grosser Sorgfalt behandelt werden, wie dies von Blociszewski entschieden in höherem Masse als von Sachs und von van Tieghem geschah, kann eine kräftige Entwickelung der Organismen erfolgen. Bei einer derartig sorgfältigen Pflege der Pflanzen handelt es sich darum, alle Gefahren, die den Organismen drohen, zu beseitigen und dieselben namentlich möglichst schnell in den Stand zu setzen, beträchtlichere Quantitäten organischer Substanzen selbst bilden zu können.

Die Frage, ob das Endosperm und die Cotyledonen nur durch das in ihnen enthaltene Reservestoffmaterial, oder auch auf irgend eine andere Weise den jungen Pflänzchen zu Gute kommen, hat Blociszewski unter Benutzung des Roggens sowie der Erbsen zu beantworten versucht.

Die sorgfältig vom Endosperm abgelösten Roggenembryonen sammt Schildchen, sowie die ihrer Cotyledonen beraubten Erbsenembryonen wurden in den, aus ihren zerriebenen Endosperm, respct. Cotyledonen, bereiteten Brei eingesetzt. Die Roggenembryonen wurden mit dem Schildchen an die Breikügelchen angelegt; die Erbsenembryonen dagegen befanden sich vollkommen von dem Brei umgeben, und nur die Plumula derselben ragte aus dem Brei hervor. Die von dem Brei umgebenen Embryonen, und zum Vergleich auch Embryonen ohne künstliche Ernährung sowie ganze Samen, wurden in feuchtem Sande und auf Fliesspapier cultivirt. Nach Verlauf von 9 Tagen wurden die Beobachtungen unterbrochen, die Embryonen vom anhaftenden Brei und Sande sorgfältig befreit, getrocknet und gewogen. Je 10 Embryonen zeigten die folgenden Trockengewichte in Milligrm.:

Art der Nahrung.	Roggen.		Erbsen.	
	auf dem Fliesspapier.	im Sande.	auf dem Fliesspapier.	im Sande.
Wasser	16	20	13	Sind zu Grunde gegangen.
Brei	29 [1])	29	12	do.
Endosperm, respect. Cotyledonen in ganzen Samen .	56	64	76	82

Bei der Ausführung weiterer Beobachtungen liess Blociszewski nackte Roggen- und Erbsenembryonen sich in Berührung mit Stärke, Traubenzucker, Asparagin oder Gemischen von Stärkemehl und Salzen etc. entwickeln. Die Untersuchungen sind 10 Tage lang fortgeführt worden und je 10 Embryonen zeigten z. B. die folgenden Trockensubstanzgewichte in Milligrm.:

Art der Nahrung.	Roggen	Frbsen
	cultivirt auf	Fliesspapier.
Wasser	9	9
Stärkemehl + Salze	14	19
Zucker + Salze	15	26
Stärkemehl + Salze + Asparagin	10	—
Asparagin	9	24
Zucker + Asparagin	14	34
Zucker + Salze + Asparagin	13	30

Dass die in den Reservestoffbehältern der Samen vorhandenen Körper für die Entwickelung der Keimpflanzen von ausserordentlicher Bedeutung sind, ist nach allem, was hier angeführt worden, als eine unzweifelhaft feststehende Thatsache anzusehen. Weiter ist aber für die richtige Beurtheilung des Werthes der Reservestoffe für den Embryo von Wichtigkeit, zu betonen, dass sich der letztere bei keiner Art künstlicher Ernährung so normal entwickeln kann, wie dann, wenn er mit den Reservestoffbehältern (Endosperm, Cotyledonen) in organischer Verbindung steht. Und es wird ein derartiges Verhältniss schon durchaus begreiflich, wenn man bedenkt, dass der Contact zwischen den Embryonen und den Nahrungsmitteln bei künstlicher Ernährung niemals ein so inniger

1) Blociszewski begnügt sich nicht damit, das Gewicht der Embryonen zu bestimmen; vielmehr hat er sich ferner stets durch Messung von dem Wachsthum derselben überzeugt.

wie unter normalen Umständen sein kann. Ueberdies ist vor allen Dingen hervorzuheben, dass bei der Keimung der Samen in den Zellen der unversehrten Reservestoffbehälter Lebenserscheinungen im eigentlichen Sinne des Wortes (Dissociation der Lebenseinheiten des Plasma, Athmung etc.) zur Geltung kommen, welche ihrerseits unzweifelhaft förderlich auf das Wachsthum des Embryo einwirken und bei künstlicher Ernährung desselben mit Endospermbrei etc. völlig ausgeschlossen werden. Van Tieghem[1]) hat sogar gefunden, dass das fettreiche Endosperm von Ricinus communis nach der Isolirung aus den Samen unter geeigneten Bedingungen Wachsthumserscheinungen zeigt. Die Proteinkörner lösen sich in den Zellen auf, das Oel verschwindet mehr und mehr, während dafür Amylum gebildet wird. Zwar fand der genannte Beobachter, dass das isolirte mehlige Endosperm von Mirabilis longiflora und Canna aurantiaca sowie das hornige Endosperm von Phoenix dactylifera sich in isolirtem Zustand unter normalen Wachsthumsverhältnissen nicht verändern, aber dadurch kann unsere Anschauung nicht erschüttert werden, denn mag die Lebensthätigkeit der Zellen dieser zuletzt genannten Gewebemassen auch erst unter Vermittelung des Embryo angeregt werden, so ist sie, einmal hervorgerufen, doch sicher von Einfluss auf die Entwickelung desselben[2]).

Auch Marek[3]) hat ganz interessante und hier zu erwähnende Beobachtungen über die Bedeutung der Reservestoffe für die Embryoentwickelung ausgeführt. Es sei nur auf eine einzige Versuchsreihe specieller hingewiesen. Am 5. Januar wurden je 5 Erbsensamen, die in der sogleich anzugebenden Weise vorbereitet worden waren, in Blumentöpfe ausgesäet, und es erfolgte dann, nachdem sich die Pflanzen im Warmhause entwickelt hatten, am 13. Januar die erste Messung der jungen Untersuchungsobjecte:

---

1) Vgl. van Tieghem, Comt. rend. T. 84, p. 578.

2) Hiermit im Zusammenhange steht auch die Beobachtung von Krauch (vgl. Versuchsstationen, B. 23, S. 96), dass im Endosperm des Samen von Zea fast gar keine Diastase, im Embryo desselben aber reichliche Mengen derselben vorhanden sind.

3) Vgl. Marek: Das Saatgut etc. 1875. S. 144.

	Stengelhöhe in Millim.	Wurzellänge in Millim.
Versuch 1 mit ganzen Erbsen	13	40
„ 2 „ 2 halben Cotyledonen[1])	12.5	35
„ 3 „ 2 Viertel- „	10	32
„ 4 „ 2 Sechstel- „	9	30
„ 5 „ 2 Resten der „	7	16
„ 6 ohne Cotyledonen	4	12
„ 7 Plumula und Radicula Median halbirt	3.5	9

Bei der Ausführung anderer Beobachtungen fand Marek, dass, wenn man die Cotyledonen grosser Erbsen so weit reducirt, dass die Samen im Gewicht mittelgrossen oder kleinen Erbsen gleichen, die verletzten Individuen Keimpflanzen erzeugen, die den aus unversehrten mittelgrossen und kleinen Samen erwachsenen hinsichtlich ihrer Höhe etc. durchaus ähnlich sind[2])[3]).

In fast allen Fällen sind die Wurzeln als diejenigen Organe der Embryonen anzusehen, welche zuerst aus den keimenden Samen hervortreten. Wenn die Coniferensamen mit hinreichenden Feuchtigkeitsmengen in Contact gerathen, so schwillt das Endosperm an. Die Samenschale wird in Folge dessen zersprengt, und das Wurzelende des Embryo tritt in Folge der Verlängerung der Axe desselben hervor. Bei der Keimung der Samen monocotyler Pflanzen wird das Wurzelende des Embryo sammt der von der Cotyledonarscheide umhüllten Keimknospe meist durch Streckung der unteren Partie des Cotyledonarblattes aus dem Samen herausgeschoben. Die Entwickelung des Embryo der Samen dicotyler Pflanzen endlich beginnt meist damit, dass, nachdem die Samen-

---

1) Die Samen wurden eingequollen und denselben dann die Reservestoffmengen entzogen.

2) Weitere Beobachtungen über den hier berührten Gegenstand sind, wie angeführt werden mag, von F. Haberlandt (vgl. Fühling's landwirthschl. Zeitung, B. 14, S. 14) und von G. Haberlandt (vgl. Schutzeinrichtungen etc., S. 33) gemacht worden.

3) Wenn die Samen in der Natur Verluste an Reservestoffen erleiden, indem sie z. B. durch Thiere beschädigt werden, so ist dies nach dem Gesagten selbstverständlich von Nachtheil für die Entwickelung des Embryo. Für die landwirthschaftliche Praxis ist es von Interesse, dass einzelne Samenindividuen beim Ausdreschen beschädigt werden; indessen ist die Samenquantität, welche beim Hand- und Maschinendrusch erheblichere Verletzungen erfährt, keine sehr bedeutende. Man vgl. darüber die Angaben in dem Jahresbericht der Agriculturchemie, 1868, S. 101 und in den Versuchsstationen, B. 15, S. 252 sowie in Nobbe's Samenkunde S. 274.

schale in Folge des Quellungsprocesses geöffnet worden ist, das hypocotyle Glied sich streckt und die Wurzelspitze hervorschiebt [1]).

Bei den Gymnospermen und den meisten Dicotyledonen entwickelt sich die Hauptwurzel sehr kräftig; sie bildet viele Nebenwurzeln, und das gesammte Wurzelsystem der erstarkten Pflanzen lässt sich auf die bei der Keimung der Samen hervorgetretene Hauptwurzel zurückführen [2]). Bei den Monocotyledonen hört die Hauptwurzel sehr bald zu wachsen auf. Dies ist selbst dann der Fall, wenn sie sich, wie bei den Palmen und beim Mais, mit beginnender Keimung der Samen zunächst kräftig entwickelt hat. Dafür treten Seitenwurzeln auf, welche um so kräftiger sind, je höher sie an der Axe entspringen.

Die hauptsächlichsten Aufgaben der Wurzeln bestehen darin, den Pflanzen im Boden Halt zu verleihen und ihnen die Wasser- sowie Mineralstoffmengen, deren sie zur normalen Entwickelung bedürfen, zuzuführen. Mit Rücksicht hierauf ist das eigenthümliche Verhalten der Wurzeln dem Einflusse der Schwerkraft gegenüber von besonderem biologischem Interesse.

Man unterscheidet bekanntlich zwischen positiv und negativ geotropischen Organen. Jene wachsen senkrecht abwärts, diese dagegen aufwärts; jene folgen dem Zuge der Centrifugalkraft, wenn sie sich auf schnell um vertical stehende Axen rotirenden Scheiben entwickeln, diese wachsen unter solchen Umständen dem Rotationscentrum zu [3]).

---

1) Der Entwickelung des Embryo stellen sich natürlich erheblichere Hindernisse in den Weg, wenn die Samen nicht im isolirten Zustande, sondern in Pericarpien eingeschlossen unter diejenigen Bedingungen gerathen, welche ihre Keimung ermöglichen. Sehr einfach gestalten sich die Verhältnisse übrigens z. B. noch bei der Keimung der Grassamen, indem das Gewebe des Pericarpiums sich in diesem Falle ganz ähnlich wie das Gewebe der Testa verhält. Bei der Haselnuss und der Eichel etc. wird das Fruchtgewebe zunächst unter Vermittelung des quellenden Samen zersprengt. Die Wallnuss öffnet ihre Klappen. Der normalen Keimung der Samen von Pyrus Malus etc. geht die Verwesung und Fäulniss des Fruchtgewebes voran.

2) Bei einigen Dicotyledonen kommt die Hauptwurzel übrigens nicht zur Entwickelung. Dies ist z. B. bei Trapa der Fall. Bei den Samen dieser Pflanze, die auf dem Grunde des Wassers keimen, bleibt die Hauptwurzel rudimentär, und aus dem hypocotylen Gliede gehen Seitenwurzeln hervor.

3) Man ist übrigens im Stande, die Krümmungen, welche Pflanzen unter dem Einflusse der Schwerkraft oder der Centrifugalkraft erfahren können, völlig auszuschliessen, wenn man die Untersuchungsobjecte auf in senkrechter Ebene sehr langsam rotirende Scheiben befestigt. Vgl. Sachs, Lehrbuch, vierte Auflage, S. 740 und Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 2, S. 214. Wenn Keimpflanzen sich unter solchen Verhältnissen entwickeln, dass die Richtung, welche ihre

Knight[1]) nahm an, dass die Spitze positiv geotropischer Organe in Folge ihrer weichen und biegsamen Beschaffenheit von der Schwerkraft leicht afficirt werden könne und deshalb nach abwärts wachse, während die Aufwärtskrümmung negativ geotropischer Pflanzentheile durch Nährstoffansammlung auf der Unterseite derselben und lebhafteres Wachsthum dieser Unterseite hervorgerufen werden soll.

Nach Hofmeister[2]) folgen spannungslose Pflanzentheile dem Zuge der Schwerkraft unmittelbar; sie sind also positiv geotropisch. Pflanzentheile, in denen aber Gewebespannung zur Geltung kommt, sind negativ geotropisch, weil die Wirkung der Schwerkraft die Dehnbarkeit der passiv gespannten Gewebe auf der Unterseite steigert und somit eine Aufwärtskrümmung der Organe zur Folge haben muss[3]).

Die Anschauungen Hofmeister's können aber nicht aufrecht erhalten werden, seitdem man weiss, dass positiv geotropische Organe (z. B. Hauptwurzeln) an den der Abwärtskrümmung fähigen Stellen der Gewebespannung nicht völlig entbehren, und dass die sehr stark negativ geotropischen Grasknoten keine oder nur sehr schwache Schichtenspannung hervortreten lassen[4]). Und in der That ist es Sachs gelungen, die gesammten geotropischen Erscheinungen auf Wachsthumsverhältnisse der Pflanzentheile zurückzuführen. Ueber die Resultate der bezüglichen Untersuchungen berichtet der genannte Forscher in den Arbeiten des botanischen Instituts in Würzburg sowie in seinem Lehrbuche der Botanik, und es hat sich ergeben, dass positiv geotropische Organe unter dem Einfluss der Schwerkraft auf der Oberseite stärker als auf der Unterseite wachsen, während sich negativ geotropische Pflanzentheile umgekehrt verhalten.

Man muss sich auf Grund der heutigen mechanischen Wachs-

---

einzelnen Organe einnehmen, weder von der Schwerkraft noch vom Licht bestimmt werden kann, so liegen Wurzeln und Stengeltheile keimender Samen (Pisum, Brassica) doch nicht in einer Flucht, denn durch innere Wachsthumsursachen werden dieselben gezwungen, mit einander nach rückwärts einen rechten oder spitzen Winkel zu bilden.

1) Vgl. Knight, Philos. transactions. 1806. Part. 1 p. 99. Die im Text erwähnten Rotationsversuche sind zuerst von Knight ausgeführt worden.

2) Vgl. Hofmeister, Berichte d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1860. S. 175.

3) Sachs, welcher der Hofmeister'schen Auffassungsweise früher beistimmte, suchte dieselbe in seinem Handbuche der Experimentalphysiologie S. 102 näher zu begründen.

4) Vgl. Sachs, Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. S. 815.

thumstheorie vorstellen, dass die Turgorausdehnung der Zellen auf der convexen Seite der sich positiv oder negativ geotropisch krümmenden Pflanzentheile am bedeutendsten ist. Diese erheblichere Turgorausdehnung bedingt ein schnelleres Wachsthum der betreffenden Zellen, und die dadurch entstandene Krümmung wird allmählich fixirt [1]). Eine gesteigerte Turgorausdehnung der Zellen kann nun bekanntlich entweder durch Erhöhung der osmotischen Saugkraft des Zellinhaltes oder durch zunehmende Dehnbarkeit der gespannten Zellschichten (Hyaloplasma und Cellulosemembran) hervorgerufen werden. Es ist möglich, dass die Schwerkraft einen Einfluss auf die beiden hier erwähnten Momente geltend macht, aber wir sind leider noch nicht genauer über die bezüglichen Verhältnisse orientirt [2]).

Die Hauptwurzeln der Keimpflanzen gehören nun, wie bereits erwähnt, zu denjenigen Pflanzentheilen, welche mit sehr starkem positivem Geotropismus begabt sind. Sachs [3]) hat constatirt, dass die gesammte wachsende Zone einer Wurzel krümmungsfähig ist, und er ermittelte ferner, dass die convexe Oberseite sich geotropisch krümmender Wurzeln ebenso kräftig oder noch kräftiger wächst, als wenn die Wurzel bei normaler Lage gerade nach abwärts wächst; dagegen wird das Wachsthum der Zellen der concaven Unterseite stets bedeutend beeinträchtigt.

Der positive Geotropismus der aus Hauptwurzeln oder aus stammbürtigen Wurzeln entspringenden Nebenwurzeln erster Ordnung ist viel schwächer als derjenige der zuerst genannten Organe. Die Nebenwurzeln erster Ordnung wachsen nicht senkrecht nach abwärts, sondern in einem bestimmten Winkel zur Richtung der Schwerkraft (geotropischer Grenzwinkel). Die Nebenwurzeln höhe-

---

1) H. de Vries (vgl. botan. Zeitung, 1879, Nr. 51) hat mit Hülfe seiner plasmolytischen Methode in der That constatiren können, dass die Zellen auf der convexen Seite geotropisch gekrümmter Pflanzentheile eine grössere Turgorausdehnung als die Zellen auf der concaven Seite besitzen. Die gekrümmten Organe verlieren die Krümmung bei der Plasmolyse nur zum Theil, und dies zeigt, dass die ursprünglich durch Turgorausdehnung eingeleitete Krümmung später durch das Wachsthum fixirt wird. Den geotropisch gekrümmten Organen analog verhalten sich solche, welche unter dem Einflusse des Lichts, gewisser Reize oder in Folge innerer Wachsthumsursachen Krümmungen erfahren haben.

2) Es ist wohl mit Sicherheit anzunehmen, dass die Schwerkraft zunächst auf das Protoplasma einwirkt, und dass die Turgorausdehnung der Zellen erst in Folge dessen in dieser oder jener Weise beeinflusst wird.

3) Man vgl. über das Folgende Sachs, Arbeiten d. botan. Instituts in Würzburg, B. 1, S. 385 und S. 584.

rer Ordnung sind gar nicht mehr geotropisch; sie wachsen daher nach allen Richtungen, die sie ihrer Anlage gemäss einmal einnehmen, weiter.

Ueberblicken wir das Gesagte, so leuchtet sofort ein, dass die eigenthümliche Vertheilung des Geotropismus an den einzelnen Theilen des Wurzelsystems einer Pflanze von erheblicher biologischer Bedeutung für dieselbe sein muss. Die Hauptwurzel kann in Folge ihres starken positiven Geotropismus leicht in den Boden eindringen. Die Nebenwurzeln erster Ordnung verbreiten sich, da sie nicht senkrecht nach abwärts wachsen, in den verschiedenen Bodenschichten, und die Nebenwurzeln höherer Ordnung vermögen endlich in Folge des Mangels geotropischer Eigenschaften die horizontalen Bodenschichten nach allen Richtungen hin zu durchsetzen. Unter solchen Verhältnissen können die Wurzeln ihre Functionen, den Pflanzen Halt zu gewähren und dieselben mit Wasser und Mineralstoffen zu versorgen, in ausgezeichneter Weise geltend machen, während es offenbar viel ungünstiger wäre, wenn die Wurzeln sämmtlich wie in ein Bündel zusammengedrängt nach abwärts wachsen würden.

Mit Bezug auf das Eindringen der Hauptwurzeln der Keimpflanze in den Boden ist hier noch auf einige interessante Verhältnisse hinzuweisen. Richter[1]) betont nämlich, dass die Hauptwurzeln der an der Bodenoberfläche verweilenden Keimlinge von Triticum, Trifolium etc. nach Beobachtungen von Wiesner unter sonst gleichen äusseren Bedingungen bei Lichtzutritt leichter in den Boden als im Dunkeln eindringen. Man könnte sich vorstellen, dass diese Erscheinung ihren Grund darin hat, dass die Abwärtskrümmung der Wurzeln in Folge ihres positiven Geotropismus unter dem Einfluss des Lichtes durch ein negativ heliotropisches Verhalten der Wurzeln noch verstärkt werde. Aber es ist zu bemerken, dass viele Wurzeln (Pisum, Phaseolus, Zea etc.), von denen Richter den berührten Einfluss des Lichts auf das Eindringen derselben in den Boden constatiren konnte, nicht negativ, sondern positiv heliotropisch sind[2]), und dass ebenso der negative Heliotropismus der Keimwurzel von Sinapis alba etc. kaum von erheblichem Einfluss auf das Eindringen der Pflanzentheile in den Boden sein dürfte, da sehr geringfügige Nebenumstände oft einen

---

1) Vgl. Richter, Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien. B. 80. Juniheft.

2) Ueber den positiven Heliotropismus der Wurzeln vgl. man Sachs, Handbuch, S. 41 und Lehrbuch, 4. Aufl., S. 808.

bedeutenden Einfluss auf den Modus der Wurzelkrümmung ausüben. Richter kommt auf Grund seiner Untersuchungen vielmehr zu dem Resultat, dass die Wurzeln bei Lichtzutritt deshalb leichter als im Finstern in den Boden eindringen, weil die Lichtstrahlen in den Wurzelzellen in Wärme umgesetzt werden, damit das Gesammtwachsthum der in Rede stehenden Organe beschleunigen und somit auch die Energie der durch den positiven Geotropismus bedingten Abwärtskrümmung steigern.

Ich habe im achten Hauptabschnitte gezeigt, dass die Keimungsenergie mancher Samen (z. B. Pisum), die unzweifelhaft in genauester Beziehung zu der Wachsthumsintensität der Wurzeln steht, im Licht und im Dunkeln dieselbe ist. Ebenso wissen wir, dass die Wachsthumsintensität positiv sowie negativ heliotropischer Wurzeln bei längerer Dauer des Wachsthumsprocesses unter dem Einflusse des Lichtes minder bedeutend als im Finstern ist. Daraus folgt, unter Voraussetzung der Richtigkeit der Angaben Richter's, dass das Licht auf das erste Wachsthum mancher Wurzeln gar keinen Einfluss ausübt, während die Lichtstrahlen das Wurzelwachsthum in einer folgenden Periode, indem sie in Wärme umgesetzt werden, beschleunigen, aber später, wenn das Wachsthum der Wurzeln lange Zeit fortdauert, entschieden retardirend beeinflussen. Es ist wohl möglich, dass die Lichtstrahlen auch während dieser letzten Periode noch in den Wurzelzellen in Wärme umgesetzt werden, aber man muss unzweifelhaft annehmen, dass die das Wachsthum verzögernde Wirkung der Lichtstrahlen als solche zu dieser Zeit weit erheblicher ist, als die eventuell zur Geltung kommende Wirkung der Lichtstrahlen in Folge ihres Umsatzes in Wärme, denn das Wachsthum heliotropischer Wurzeln wird ja nachgewiesenermassen durch den directen Einfluss der Lichtstrahlen verlangsamt.

Uebrigens scheinen mir die hier berührten Verhältnisse nicht ohne Bedeutung für die Beurtheilung der Frage nach dem Einfluss des Lichtes auf die Keimungsenergie der Samen zu sein. Erbsen keimen nach meinen Beobachtungen ebenso schnell im Licht wie im Finstern. Aber es ist möglich, dass Samen existiren, deren Wurzelwachsthum bereits während der allerersten Keimungsstadien durch die Wärmewirkung des Lichts begünstigt wird, so dass sie also im Lichte eine bedeutendere Keimungsenergie als im Finstern erkennen lassen. Ueberdies hat Richter (S. 16 seiner Abhandlung) unter Benutzung von Weizen- und Gerstenkörnern, so-

wie Leinsamen gezeigt, dass die Wurzeln sich im Dunkeln viel kräftiger als unter dem Einflusse des Lichts entwickeln, wenn die Keimung bei Wärmegraden erfolgt, die dem Maximum für die Keimungstemperaturen jener Samen nahe liegen, indem das Licht unter diesen Umständen in Folge seiner Wärmewirkung nachtheilig auf das Wurzelwachsthum einwirkt.

Neben den Wurzeln besitzen die Cotyledonen, welche den Embryonen nur in seltenen Fällen, nämlich dann, wenn dieselben überhaupt keine weitergehende Ausbildung im ruhenden Samen erfahren haben, fehlen, eine erhebliche biologische Bedeutung für die Keimpflanzen, und es ist von Wichtigkeit, von vornherein zu betonen, dass die Cotyledonen nicht immer dieselben Functionen zu erfüllen haben.

Die Cotyledonarscheide der Gräser hat die zarten Blattgebilde der Plumula zu schützen, bis dieselben, über die Erdoberfläche gelangt, sich kräftig entwickeln. Das Scutellum der Gräser sowie das Saugorgan des Keimblattes des Embryo im Dattelsamen vermitteln, wie im fünften Hauptabschnitt eingehender gezeigt worden, den Uebergang der im Endosperm aufgespeicherten Reservestoffe in die Keimpflanzen.

Bei den Gymnospermen und vielen Dicotyledonen, deren Samen Endosperm enthalten, fällt den Cotyledonen die Aufgabe zu, die Reservestoffe des Endospermgewebes aufzusaugen. Bei Salisburya bleiben die Cotyledonen überhaupt im Samen stecken. Bei den meisten Coniferen dagegen streckt sich das hypocotyle Glied, nachdem die Cotyledonen dem Endosperm die Reservestoffe entzogen haben, stark; die bereits unter der Erdoberfläche ergrünten Keimblätter treten ans Tageslicht und fungiren wie Laubblätter der jungen Pflanzen. Ganz ähnliche Vorgänge machen sich bei der Keimung endospermhaltiger Samen dicotyler Pflanzen geltend [1]).

Die Samen vieler dicotylen Pflanzen sind aber, wie bekannt, frei von Endosperm. In diesem Falle dienen die Cotyledonen als Reservestoffbehälter. Sie sind dann meist dick und fleischig und bleiben gewöhnlich im Erdboden stecken. Man redet in diesem

---

1) Man vgl. Eingehenderes über die Function der Cotyledonen von Solanum tuberosum als Saugorgane bei H. de Vries, landwirthschftl. Jahrbücher, B. 7, S. 20.

Falle von hypogäischen Keimblättern (Phaseolus multiflorus, Pisum, Vicia, Quercus, Aesculus, Juglans)[1]).

Die Cotyledonen können also, wie aus den vorstehenden Angaben erhellt, als Schutzmittel anderer Theile des Embryo, als Saugorgane sowie als Reservestoffbehälter fungiren. Ueberdies können sie aber, wie bereits angedeutet, eine sehr wichtige Rolle als Assimilationsorgane spielen. Die Keimblätter sind dann epigäisch. Sie werden in Folge mehr oder minder bedeutender Streckung des hypocotylen Gliedes über die Erdoberfläche gehoben und ergrünen unter dem Einflusse des Lichtes.

Die reichliche Reservestoffquantitäten führenden Keimblätter von Phaseolus vulgaris treten allerdings an das Licht und ergrünen, aber sie wachsen nicht, und ihre assimilatorische Thätigkeit ist in Folge dessen eine nur geringe. Die epigäischen Keimblätter von Lupinus wachsen dagegen schon nicht unerheblich. In vielen anderen Fällen (Trifolium, Cucurbita, Solanum, Euphorbiaceen, Cruciferen, Convolvulaceen) wachsen die epigäischen Keimblätter rasch und beträchtlich, so dass sie erhebliche Quantitäten organischer Substanz in Folge des Assimilationsprocesses bilden können. Wenn die ruhenden Samen kein mit beträchtlicheren Reservestoffquantitäten angefülltes Endosperm besitzen, so fungiren die epigäischen Cotyledonen nicht allein als erste Assimilationsorgane, sondern daneben ebenso als Reservestoffbehälter (Trifolium, Lupinus, Cucurbita, Cruciferen). Ist dagegen wohl ausgebildetes Endospermgewebe vorhanden, so wird dasselbe von den Keimblättern, bevor dieselben assimilatorisch thätig sind, entleert (viele Coniferen, Euphorbiaceen, Solanum).

Man ersieht also aus den vorstehenden Darstellungen, dass die Cotyledonen sich bei der Keimung sehr verschiedenartig verhalten, und dass selbst die Entwickelung der Keimblätter nahe mit einander verwandter Pflanzenspecies durchaus nicht immer in ähnlicher Weise erfolgt. Dies tritt namentlich deutlich hervor, wenn man die Beschaffenheit der Cotyledonen verschiedener Repräsentanten der Familie der Papilionaceen genauer ins Auge fasst, und es zeigt sich dabei zumal noch, wie bereits G. Haberlandt betont hat, dass die Cotylen, je mehr sie die Functionen echter

1) Die Keimblätter von Phaseolus multiflorus, Pisum und Vicia ergrünen, weil sie hypogäisch sind, normalerweise nicht. Die Cotylen von Vicia ergrünen auch nicht, wenn man sie dem Licht aussetzt; diejenigen von Pisum bilden aber bei Lichtzutritt geringe und diejenigen von Ph. multiflorus erheblichere Chlorophyllmengen, sie wachsen aber nicht.

Laubblätter übernehmen, ebenso um so deutlicher den bilateralen Charakter dieser Organe annehmen.

Die assimilatorische Thätigkeit der Cotyledonen ist für die jungen Keimpflanzen selbstverständlich von sehr erheblicher Bedeutung, und dies muss ganz insbesondere dann der Fall sein, wenn der dem Embryo zur Disposition stehende Reservestoffvorrath kein besonders grosser ist. In der Regel fungiren die Cotyledonen so lange als Assimilationsorgane, bis die echten Laubblätter eine beträchtlichere Entwickelung erfahren haben; die Keimblätter gehen dann zu Grunde, und die Laubblätter haben den jugendlichen Organismus allein mit organischen Substanzen zu versorgen.

Während den Cotyledonen, selbst wenn sie bedeutend gewachsen sind, in der Regel kein sehr langes Leben zukommt, sind doch durch die Untersuchungen von Irmisch und anderer Beobachter einige Fälle bekannt geworden, in denen die Keimblätter während des ganzen ersten Vegetationsjahres der Gewächse als alleinige Assimilationsorgane fungiren. Dies ist z. B. bei Corydalis tuberosa, Cherophyllum bulbosum und Aconitum Anthora der Fall. Bei Welwitschia mirabilis bleiben die beiden riesig entwickelten Cotyledonen sogar während des ganzen Lebens der Pflanze die einzigen Assimilationsorgane.

Der Axenkörper der Embryonen dicotyler Pflanzen endigt zwischen den opponirten Cotyledonen als nakter Vegetationspunkt (Cucurbita), oder er trägt an seinem Ende eine oft mehrblätterige Knospe (Quercus, Phaseolus, Pisum etc.) [1]). Wenn die Cotyledonarstiele sich bei beginnender Keimung verlängert haben, oder wenn sich das hypocotyle Glied, wie es bei Keimlingen mit epigäischen Cotyledonen der Fall ist, gestreckt hat, so tritt die Knospe aus dem Samen hervor, und die Entwickelung des epicotylen Stengelgliedes sowie der bereits der Anlage nach vorhandenen Blattgebilde schreitet mehr und mehr fort [2]).

Wenn die Samen, wie es gewöhnlich der Fall, im Boden keimen, so ist es selbstverständlich für die zarten Blattgebilde der Keimpflanze vortheilhaft, dass dieselben nicht mit nach aufwärts

1) Ebenso ist die Plumula mancher Monocotyledonen (z. B. der Gramineen) mehrblätterig.

2) Die ersten Laubblätter (Primordialblätter) der Keimpflanzen besitzen häufig eine ganz andere Gestalt als die späteren Laubblätter (Pisum, Trifolium).

gewendeter Spitze das Erdreich durchbrechen. In der That beobachtet man — und dies lässt sich zumal an Keimlingen dicotyler Pflanzen mit hypogäischen Cotyledonen sehr schön verfolgen — dass die Keimknospe in hängender Lage über die Erde emporgehoben wird.

Diese, ein nicht unerhebliches biologisches Interesse beanspruchende Erscheinung hat ihre Ursache in spontanen Nutationsverhältnissen der Stengelgebilde der Keimlinge.

Das Nutationsphänomen macht sich nicht nur unter gewöhnlichen Verhältnissen geltend, sondern ebenso dann, wenn sich die Keimlinge, um eine horizontale Axe langsam rotirend, im Finstern entwickeln. Die Nutationskrümmung erfolgt fast immer genau in der Medianebene der Keimlinge, sie kommt selbst ohne Mitwirkung des Lichtes und der Gravitation zu Stande und wird also durch innere Wachsthumsursachen hervorgerufen. Die Stengeltheile der Keimpflanzen tragen demnach während der ersten Stadien ihrer Entwickelung einen bilateralen Charakter; später werden sie meist multilateral und wachsen dann in Folge ihres negativen Geotropismus vertical nach aufwärts [1]).

1) Ueber die hier berührten und einige weitere Verhältnisse vergl. man Sachs (Lehrbuch d. Botanik, 4. Aufl., S. 828), G. Haberlandt (Die Schutzeinrichtungen in d. Entwickelung d. Keimpflanze, Wien, 1877, S. 69) und Wiesner (Sitzungsber. d. Akadem. d. Wiss. in Wien, B. 77, Januarheft).

Druck von Ed. Frommann in Jena.

